DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Vierzehnter Jahrgang | 2. April 1926 | Heft 14

Gedanken zur Unterstützung des Auges durch optische Vorkehrungen.

Von M. v. Rohr, Jena.

Bevor man an den eigentlichen Gegenstand dieses Aufsatzes gelangen kann, muß man sich etwas näher mit dem Gebrauch des Auges beschäftigen, wenn es sich um die Wahrnehmung eines einigermaßen ausgedehnten Feldes handelt.

Daß in der Tat die Berücksichtigung des blickenden Auges in der technischen Optik keine leichte Sache war, zeigt ein kurzer Hinweis auf die Geschichte. Obgleich Kepler schon 1604 ein auf die Wichtigkeit des Augendrehpunktes (seines *centrum oculi*) in der Verbindung von Auge und Brillenglas hingewiesen hatte, dauerte es nach unserer gegenwärtigen Kenntnis mindestens 200 Jahre, ehe ähnliche Gedankenrichtungen weiter verfolgt wurden. Da Wollastons Kenntnis des Augendrehpunkts zweifelhaft ist — so weit ich seine Schriften durchforscht habe, hat er denAugendrehpunkt weder gezeichnet noch sein Vorhandensein deutlich ausgesprochen —, so wird man wohl bis 1842 gehen müssen, wo L. Schleiermacher ihn über allen Zweifel hin beschrieben und in seiner Wichtigkeit hervorgehoben hat. Aber auch Schleiermacher war es, so wenig wie Kepler und Scheiner, beschieden, auf die technische Optik zu wirken, und selbst ein derartig umfassender und das Wesentliche klar erkennender Geist wie E. Abbe hat das Menschenauge und also auch seine Verbindung mit der vorgeschalteten optischen Vorkehrung ohne seine sonstige Vertiefung behandelt. Soweit ich die Lage übersehe, hat erst das Bemühen des Augenarztes Fr. Ostwalt um 1898 die Aufmerksamkeit anderer Augenforscher auf dieses Gebiet gelenkt, und ihrer einer, A. Gullstrand, hat 1902 die von ihm noch vertiefte und erweiterte Aufgabe den technischen Optikern nahe gebracht. Ich kann aus eigener Erfahrung bezeugen, wie erstaunlich einem besonders begabten Kollegen und mir die neuen Auffassungen noch in den ersten Monaten von 1903 erschienen, wie sich unsere Schulung in dem schönen, von Abbe für alle während des Gebrauchs ruhenden Geräte geschaffenen Lehrgebäude gegen diese Neuerung sträubte, und wie erst ganz bestimmte zur Entscheidung zwischen beiden Auffassungen angelegte Versuche uns Klarheit verschafften. Da — von allem anderen abgesehen — eine wissenschaftliche Behandlung der Brille überhaupt erst durch diese neue Betonung von Auffassungen ehrwürdigen Alters möglich wurde, so lohnt es sich schon, ihrer Entwicklung und ihrer Anwendung einige Zeit zu opfern.

Der Gebrauch des Auges im freien Blicken.

Wenn man auch zur Wahrnehmung ausreichend ferner Flächenstücke in unmittelbarer Nähe der Gesichtslinie das Auge in erster Annäherung auffassen kann als eine ruhende optische Vorkehrung mit bestimmter Eintrittspupille und festem Aufnahmeschirm, so ist eine solche Vereinfachung nicht mehr zulässig, sobald es sich um die aufmerksame Betrachtung eines weiter ausgedehnten Feldes handelt. Alsdann wenden wir ganz unwillkürlich zur Betrachtung eines einigermaßen seitlich (oder oberhalb oder unterhalb) gelegenen Dingpunktes unser Auge in seiner Höhle wie in einem Kugelgelenk. Wir können uns diese Bewegung vielleicht bequemer vorstellen, wenn wir sagen, das Auge bewege sich um einen bestimmten (vom Hornhautscheitel etwa 13 mm nach innen anzunehmenden) Punkt, den *Augendrehpunkt*, herum, so daß dieser im ruhend angenommenen Kopfe ebenfalls ruhend zu denken ist. Dieser Sehvorgang spielt sich im allgemeinen so ab, daß die Lichtempfindung auf den wenig empfindlichen Seitenteilen der Netzhaut nur verwandt wird, um einen gewissen Anhalt für die Augenbewegung zu haben und eben die Gesichtslinie schnell auf den seitlichen Dingpunkt zu richten, der die Aufmerksamkeit fesselt. Der nahe Zusammenhang zwischen der Aufmerksamkeit und dem auf einen Punkt zu richtenden Augenmerk ist schon in ziemlich früher Zeit durch die Sprache belegt worden. Diesen Sehvorgang nennt man ***Blicken*** oder ***Fixieren*** und die verschiedenen Lagen der Gesichtslinie das ***Blicklinienbündel;*** man kann sie auf dieser Stufe der Betrachtung alle durch den Augendrehpunkt Z gehend annehmen. Selbst wenn spätere, genauere Untersuchungen zeigen sollten, daß bei größeren Drehwinkeln w der Augendrehpunkt keine ganz feste Lage im Augeninnern bewahren sollte, so wird man die hier aufrecht erhaltene Annahme als eine brauchbare erste Annäherung festhalten dürfen. Verständlicherweise ist die Betrachtung der Blickbewegungen des Auges in seiner Höhle von großer Wichtigkeit und zum optischen Verständnis des Blickens durchaus notwendig.

Zunächst sei kurz darauf hingewiesen, daß den Griechen die Blickbewegungen an den Verschiebungen der Pupille aufgefallen waren, doch sind uns die griechischen Anschauungen darüber nicht genau genug bekannt, um festzustellen, ob sie auch den Unterschied zwischen dem *direkten* und dem *indirekten* Sehen klar erfaßt hatten; der Verfasser dieser Darstellung möchte das auch nicht annehmen. — Dieser Unterschied erscheint indessen schon 15 Jahre nach der ersten wissenschaftlichen Optik, nämlich den Paralipomena J. Keplers, und zwar auf einen recht vollkommenen Ausdruck gebracht, in dem Augenbuch des schwäbischen Jesuiten Chr. Scheiner vom Jahre 1619. Die allgemeine Höhe der optischen Kenntnisse genügte damals

aber noch nicht, um diese ausgezeichneten Hinweise auszunutzen. Vielmehr wurde die Augendrehung erst mehr denn 200 Jahre später, nämlich 1826, von J. Müller in ihrer Bedeutung wieder hervorgehoben; der Augendrehpunkt wurde sogar erst 1835 von A. W. Volkmann mit dieser Bezeichnung versehen und von demselben Forscher mit anerkennenswerter Genauigkeit festgelegt. In den Besitz der technischen Optiker ist das Bewußtsein von der Bedeutung der Augendrehung und von der Notwendigkeit, sie bei der Anlage bestimmter optischer Geräte zu berücksichtigen, erst sehr spät — nicht vor 1903 — eingegangen.

Im nachstehenden wird es sich zunächst darum handeln, einige kennzeichnende Abweichungen von der als kollinearen Abbildung bekannten Erweiterung des Gaussischen Raumes gleichsam auf endliche Achsenabstände hervorzuheben, damit man leichter die Bedingungen bestimmen könne, deren Erfüllung man sich bei der Anlage der optischen Vorkehrungen als Ziel setzen sollte.

Die Mannigfaltigkeit der Schärfenkugeln für das bewegte Auge.

Hält man an einem bestimmten Akkommodationszustande A_1 des Auges fest — er mag einem bestimmten Dingpunkt Q entsprechen — und läßt

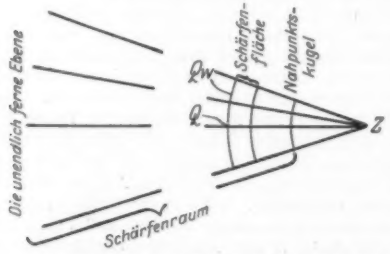


Fig. 1. Schärfenraum und Schärfenflächen bei einem rechtsichtigen Auge.

alsdann die Blicklinie verschiedene Richtungen einnehmen, so liegen die verschiedenen Dingpunkte Q_w, die alle zu dieser Einstellung des Auges gehören, auf der Kugeloberfläche, die man mit ZQ als Halbmesser (Fig. 1) um den Augendrehpunkt Z beschreiben kann.

Setzt man zu leichterer Vorstellung das Blickfeld allseitig etwa 40° von der Anfangs- oder Nullage der Blicklinie an, so handelt es sich bei dem Schärfenraum um Teile eines Kreiskegels mit einem Öffnungswinkel von $2 \times 40° = 80°$. Bei einem rechtsichtigen Auge reicht dieser Schärfenraum bis in das Unendlich-Ferne und umfaßt dort den unter diesem Winkel erscheinenden Teil der unendlich fernen Ebene. Für nähere Punkte wird er, wieder für Rechtsichtige, aus konzentrischen Schichten von einer mit wachsendem A_1 immer zunehmenden Krümmung gebildet. Die dem blickenden Auge nächste Kreisfläche bezeichnet man verständlicherweise als ***Nahpunktskugel***, während eben die ***Fernpunktskugel*** hier mit der unendlich fernen Ebene zusammenfällt. Fig. 1 wird das verdeutlichen.

Bei Fehlsichtigen hat — der Begriffsbestimmung der Fehlsichtigkeit entsprechend — die Fernpunktskugel eine bestimmte Lage im Endlichen, so daß sie mit der Nahpunktskugel zusammen bei Kurzsichtigen die unendlich ferne Ebene aus dem Schärfenraum aus-, bei Übersichtigen in ihn einschließt. Beides findet man in den Figuren 2 und 3 dargestellt.

Da man meistens von der üblichen, aus einer Erweiterung des Gaussischen Raumes folgenden

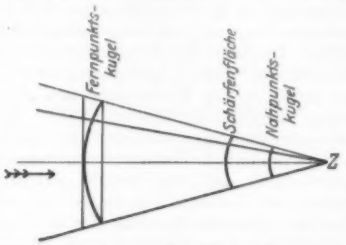


Fig. 2. Schärfenraum und Schärfenflächen bei einem kurzsichtigen Auge. In der Nähe der Fernpunktskugel ist die in der mittleren Blickrichtung berührende und eine etwas genäherte Ebene angebracht, die von der Fernpunktskugel eine Kugelkappe abschneidet.

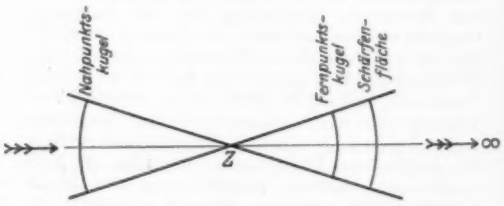


Fig. 3. Schärfenraum und Schärfenflächen bei einem übersichtigen Auge. Bei der Akkommodationsanspannung verschiebt sich der eingestellte Punkt auch hier im Sinne der Lichtrichtung. Hier ist angenommen, daß die Akkommodationsbreite größer ist als der Brechungsfehler, sodaß die Nahpunktskugel links von dem Auge liegt.

Mannigfaltigkeit achsensenkrechter, der Abbildung unterliegender Dingebenen ausgeht, so muß man sich deutlich bewußt werden, daß man beim blickenden Auge an Stelle davon eben jene Mannigfaltigkeit von Schärfenkugeln anzusetzen hat.

Stellt man etwa bei einem kurzsichtigen Beobachter wie in Fig. 2 eine ebene Darstellung, z. B. eine Leseprobe, so auf, daß sie seine Fernpunktskugel gerade in dem Scheitel berührt, so vermag der Beobachter wohl in dieser mittleren Richtung die Probebuchstaben deutlich wahrzunehmen, aber nicht mehr die an den Rändern, denn er kann ja nach der Voraussetzung seine Akkommodation nicht weiter erschlaffen. In einem solchen Falle bleibt nichts weiter übrig, als die Ebene der Probe-

tafel dem Auge entsprechend zu nähern, so daß nunmehr alle ihre 4 Ecken auf der Fernpunktskugel liegen, während alle innerhalb des Begrenzungsrandes liegenden Teile mit einem nach innen zu wachsenden Akkommodationszustande des Auges betrachtet werden. Namentlich beim Brillenglase wird noch auf die Bedeutung der Schärfenkugeln einzugehen sein.

Die Abbildungsfehler in den Seitenteilen des Blickfeldes.

Eine sehr ähnliche Überlegung führt uns zu der richtigen Auffassung der verschiedenen Bildfehler. Da der Augapfel als Ganzes in seiner Höhle gedreht wird, so bestehen für das ganze endlich ausgedehnte Blickfeld nur eben *die* Abbildungsfehler, die wir entlang der Gesichtslinie des ruhenden Auges feststellen können, nämlich die Kugelabweichung im engeren Sinne, die Farbenfehler längs der Achse und gegebenenfalls der Augenastigmatismus. Der Grund für diese, bei keiner optischen Vorkehrung mit einer einzelnen Symmetrieachse vorkommende Unveränderlichkeit der Fehler trotz wechselnder Hauptstrahlneigung liegt gerade in der Augendrehung. Durch sie wird die Hauptstrahlneigung ohne Rücksicht auf die Lage der Eintrittspupille bestimmt, und die Eintrittspupille nimmt eben an der durch die Blickschiefe w bestimmten Drehung teil: sie verschiebt sich auf einer bestimmten, zum Augendrehpunkt konzentrischen Kugelkappe. Bei den künstlichen Vorkehrungen, die während der Benutzung in Ruhe bleiben, ist, wie die jene Gruppe vollkommen umfassende Abbesche Darstellung der Strahlenbegrenzung lehrt, die Spitze des Hauptstrahlenbündels in der Mitte der Eintrittspupille anzunehmen, so daß bei Hauptstrahlneigungen w andere und andere Teile der brechenden Kugelflächen von dem Öffnungsbündel aus dem seitlichen Dingpunkt getroffen werden. Dadurch entstehen ganz andere Einfalls- und Brechungswinkel und daraus wieder sind die schwieriger zu behandelnden Fehler schiefer Bündel abzuleiten.

Beim blickenden Auge ist also der Hauptstrahlenkreuzungspunkt Z streng von dem Orte P der Mitte der Eintrittspupille zu trennen, und auf diese Weise werden beim blickenden Auge eben die Fehler schiefer Bündel vermieden.

So z. B. besteht keinerlei Verzeichnung, da die Winkel w der Blickschiefe gegen die etwa wagrecht und geradeaus nach vorn angenommene Nullstrahlenrichtung durch eine einfache Drehung des Augapfels erhalten werden; sie kommen uns durch die Muskelbetätigung zum Bewußtsein, die wir wörtlich in jedem Augen„blick" ausüben.

Auch nimmt die Helligkeit beim Blick nach dem Rande des Blickfeldes in einem geringeren Maße ab als bei der Annahme einer ruhenden Blende. Man braucht sich dafür nur zu vergegenwärtigen, daß ja die Neigung der von seitlichen Blickpunkten an die Netzhautgrube gelangenden Strahlenbündel gegen diesen Auffangschirm ebenso unverändert bleibt wie der Bildabstand von der Austrittspupille. Also liegen die Lichtverhältnisse hier ungemein viel günstiger als bei den nach Art photographischer Linsen wirkenden Vorkehrungen, wo sich die Helligkeit nach dem Rande ändert wie $\cos^4 w'$.

Was die Farbfehler angeht, so bleibt auch bei den größten Blickschiefen die farbige Längsabweichung des Auges unverändert und wird nicht besonders empfunden, da sich das Auge an diesen Fehler gewöhnt hat und die Empfindlichkeit zu beiden Seiten des etwa bei $\lambda = 540\,\mu\mu$ liegenden Gipfels ziemlich rasch abfällt. Da durch die Augendrehung für den seitlich gerichteten Blick keine neuen Farbfehler eingeführt werden, so gibt es beim Blicken auch keine Farbenverschiedenheit der Vergrößerung. Aus solcher Erkenntnis muß man für die Anlage von Geräten zur Unterstützung des blickenden Auges den Schluß ziehen, daß es zwar auf eine vollkommene Hebung der farbigen Längsabweichung für die verschiedenen Hauptstrahlneigungen nicht weiter ankommt — sie ist ja, wie oben gesagt, auch beim Sehen mit unbewaffnetem Auge vorhanden —, daß aber das Auge für Farbenunterschiede in der Vergrößerung außerordentlich empfindlich ist.

Die beiden Perspektiven beim gewöhnlichen Gebrauch des Auges im freien, unbehinderten Sehen.

Verbindet man irgendeinen Punkt Q des Augenraumes mit dem Augendrehpunkt Z, so ergibt sich, wie schon oben angedeutet, die Blicklinie ZQ. Allen möglichen Blicklinien ist also der Punkt Z gemeinsam, und er dient somit dem blickenden Auge als perspektivisches Zentrum.

Jedem Punkte der Oberfläche eines Raumdinges, der innerhalb des Blicklinienkegels von Z aus überhaupt sichtbar ist, entspricht — soweit er die Aufmerksamkeit erregt — nach Fig. 4 eine

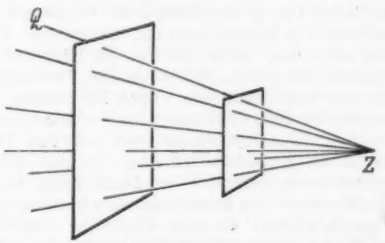


Fig. 4. Das Blicklinienbündel und die zugehörigen ebenen Perspektiven; ihre Ebenen stehen auf der mittleren Blickrichtung senkrecht.

Blicklinie, und allen in diesem Bereich irgendwie auffälligen Oberflächenpunkten das gesamte kegelförmige Blicklinienbündel von Z aus. Man sieht aber leicht ein, daß nur Punkte, die von Z aus nach Breite oder Höhe, oder Breite und Höhe unterschieden sind, mit anderen Worten, verschiedene Seitenabstände haben, zu neuen Blickrichtungen Anlaß geben, während von 2 Oberflächenpunkten, die zwar auf derselben Blickrichtung aber in ver-

schiedener Entfernung liegen, der dem Beobachter nähere den ferneren verdeckt. Mithin hat das Blicklinienbündel nur die Ausdehnungen von rechts nach links und von oben nach unten, obwohl es von den Oberflächenpunkten eines räumlich, also nach allen *drei* Richtungen ausgedehnten Gegenstandes hervorgerufen ist. Man kann also dieses nur zwiefach ausgedehnte Blicklinienbündel durch eine Ebene schneiden, auf der eine jede Blicklinie einen Durchstoßpunkt aussticht, und die Gesamtheit aller dieser Punkte liefert die *ebene* Perspektive des vorliegenden Raumdinges.

Nach ihrer Entstehung deckt sich also die ebene Perspektive von Z aus Punkt für Punkt mit der Oberfläche des Raumdinges und kann dieses überall da vertreten, wo es nur auf die Richtung des Gesehenen ankommt. Für einäugige Betrachtung kann man also durch eine ebene Darstellung, ein Gemälde oder eine Zeichnung, sehr vollkommen ein Raumding darstellen, wenn man nur den Drehpunkt Z des betrachtenden Auges an das richtige perspektivische Zentrum der Darstellung bringt. In der Malkunst der Renaissancezeit hat man auch die geometrischen Gesetze allgemein abgeleitet, wonach der denkende Künstler ein Raumbild (und namentlich wichtig ist ihre Beobachtung bei der Wiedergabe von Bauwerken) auf seiner Mal- und Zeichenfläche wiedergibt. Solche Wiedergaben wirken dann naturgetreu auch auf Ungelehrte, die keine Kenntnis der perspektivischen Gesetze haben.

War bis jetzt die Perspektive des blickenden Auges vom Augendrehpunkt Z aus bevorzugt, so muß man aber darauf hinweisen, daß unser Blick einen vorliegenden Winkelraum nie stetig, sondern in Rucken durchläuft. Während der Ruhepause nach einem Ruck bis zum nächsten gilt für die Umgebung des soeben ins Auge gefaßten oder Blickpunktes als Zentrum der Perspektive die Mitte der Augenpupille in ihrer jeweiligen Ruhelage, und die kleinen in dieser Weise mit hinreichender Deutlichkeit wahrgenommenen Gebiete wirken im indirekten Sehen auf unser Auge.

Man kommt mithin nach Fig. 5 zu der Einsicht, daß für unsere Gesichtswahrnehmung eines Raumdinges von beträchtlicher Winkelausdehnung zwei verschiedene perspektivische Zentren maßgebend sind, ein wichtiges, ruhendes, für die Blickpunkte, die unsere Aufmerksamkeit fesselten — der Augendrehpunkt — und ein unwichtigeres, wanderndes — die ruckweise bewegte Augenpupille — für die Nachbarschaft der Blickpunkte. Diese *Füllperspektiven* überdecken sich gegenseitig, ohne indessen an der Eindeutigkeit der Gesichtswahrnehmung größeren Schaden anzurichten, weil ja alle wichtigen Punkte durch die Blicklinien bestimmt sind. Daß diese Verhältnisse wenig auffallen, liegt einmal an dem Mangel an Übung im indirekten Sehen und ferner an dem Umstand, daß der Abstand von Pupille und Drehpunkt wenig über 1 cm beträgt, während die Gegenstände stets eine merklich und meistens eine sehr viel größere Entfernung vom Auge haben.

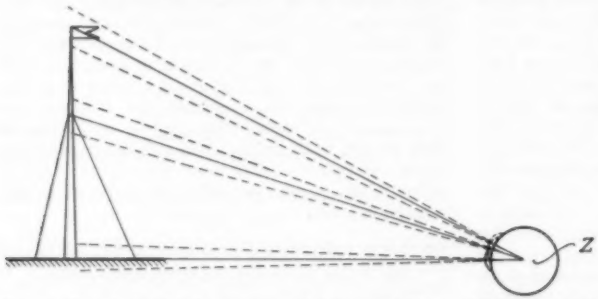


Fig. 5. Der Augapfel (in ganz unrichtigen Größenverhältnissen) ist in drei Lagen dargestellt worden, wenn nacheinander Fuß, Mitte und Spitze des Flaggenstocks fixiert wurden. Die scheinbare Größe dieser drei Abschnitte wird offenbar nach den Augendrehungen von den Mittelpunkt Z beim Blicken beurteilt. Für die Zwischenteile, die nach Voraussetzung dem Beschauer weniger wichtig erscheinen, treten die roh angedeuteten Füllperspektiven ein, die von der jeweiligen Lage der Mitte der Augenpupille entworfen sind. Wie weit sie sich erstrecken, ist schwer zu entscheiden; es wurde auf der Zeichnung unbestimmt gelassen.

Da das Auge gewöhnt ist, schnell Bewegungen um seinen Drehpunkt auszuführen, so gibt es beim Blicken keine bestimmte bevorzugte Achsenrichtung. Der Entwurf einer ebenen Perspektive für das blickende Auge wäre also willkürlich, weil die Lage der Entwurfsebene unbestimmt wäre. Man hilft sich aber damit, daß man die Zeichenebene im Raume senkrecht zur Achse des wagrecht und geradeaus nach vorn gerichteten Auges annimmt, wie es auch in Fig. 4 dargestellt wurde.

Das unbehinderte Sehen mit beiden Augen.

Stellt man sich nun (Fig. 6) beide Augen vor, deren Drehpunkte einen gegenseitigen Abstand I haben, für den bei Menschen je nach Alter, Geschlecht und Stammeszugehörigkeit gilt

$$5 \text{ cm} \leqq \text{I} \leqq 7^1/_2 \text{ cm},$$

so richten sich bei einem Augenpaare mit ungestörter Muskeltätigkeit von selbst beide Achsen auf den gleichen seitlichen Punkt (Fig. 6). Da nun, wie schon oben benutzt, die Blicklinie eines jeden Auges durch den Drehpunkt geht, so bestimmt irgendein Blickpunkt Q mit den beiden Drehpunkten Z_l und Z_r eine ganz eindeutig festgelegte Ebene im Raum, innerhalb deren die beiden Blicklinien auf Q hinlaufen. Die Neigung dieser Ebene gegen die wagrechte Ausgangsebene nennt man nach einer Anregung Helmholtzens den *Hub-* oder *Senk*winkel,

und man kann für das ungestörte beidäugige Sehen die Forderung stellen, daß die beiden durch die Augenstand- und die Blicklinien bestimmten Hub- oder Senkwinkel bei beiden Augen einander gleich seien. Namentlich bei den astigmatischen Brillen wird man auf diese Forderung zurückkommen müssen.

Innerhalb der im allgemeinen gehobenen oder gesenkten Blickebene tritt nun, je nach der Entfernung des Blickpunktes und seiner mehr oder weniger seitlichen Lage noch ein Paar anderer Winkel auf. Man rechnet sie von den in der Blickebene aus den beiden Augendrehpunkten Z_l und Z_r senkrecht zur Augenstandlinie Z_lZ_r gezogenen Richtungen aus und nennt sie — wiederum nach einer von Helmholtz ausgegangenen Anregung — *Seitenwendwinkel*. Man erkennt, daß durch den Hub- oder Senkwinkel und die beiden Seitenwendwinkel bei einer bestimmten Augenstandlinie jeder Raumpunkt Q eindeutig festgelegt ist; und auch umgekehrt liefert irgendein durch seine

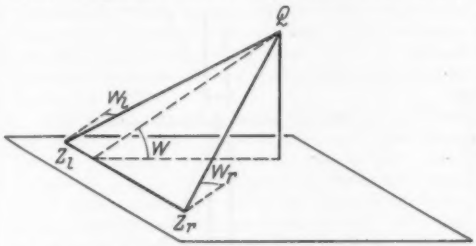


Fig. 6. Die Ebene der Blicklinien nach Q. Der Hubwinkel W; die Seitenwendwinkel w_l und w_r in der Hubebene.

Raumkoordinaten $x\,y\,z$ festgelegter Raumpunkt auf eindeutige Weise eine derartige Winkel-Dreiheit.

Man würde auf solche Weise auch rechnerisch der beidäugigen Tiefenwahrnehmung folgen können, doch geht man — wieder nach Helmholtzens Vorgange — auf die für die rechnerische Verwertung bequemeren *stereoskopischen Differenzen* ein, worüber man in dem Handbuch der physiologischen Optik alle Einzelheiten findet.

Jedenfalls wird klar geworden sein, daß man sich im beidäugigen Sehen von Entfernungsunterschieden Rechenschaft zu geben vermag, indem man die Änderung der Seitenwendwinkel feststellt. Liegen beim Sehen auch zur Seite geeignete Ziele vor, so kann man auf Grund der Schärfe der Breitenwahrnehmung mit einer beträchtlichen Genauigkeit rechnen; bei den gewöhnlichen Sehdingen reicht die Tiefenwahrnehmung lange nicht so weit: schon bei Dingabständen von 50 m und darüber haben die Unterschiede in den Perspektiven beider Augen nur ein geringes Gewicht, und man bildet seine Raumanschauung vielmehr auf Grund früherer Erfahrungen und des Formengedächtnisses. Namentlich in den photographischen Gesellschaften Englands sind diese Fragen gelegentlich recht ansprechend behandelt worden, wenn es sich darum handelte, die Wirkung von Halbbildpaaren aus Zwillingskammern zu verstehen. Sicherlich ist bei solchen Aufnahmen aus einigermaßen beträchtlichem Abstande von den nächsten Gegenständen das Formengedächtnis viel stärker als die eigentliche beidäugige Tiefenwahrnehmung.

Das Blicken mit behindertem Auge.

Wenn wir soeben das gänzlich unbehinderte Blicken im allgemeinen behandelt hatten, so wollen wir hier noch besonders darauf hinweisen, daß wir bei freier Bewegung durch Einnehmen eines bestimmten Orts für den Drehpunkt eines Einzelauges die Perspektive wählen können, die uns zusagt. Um einige Beispiele zu geben, lehnt man sich unwillkürlich aus dem offenen Fenster hinaus, um einen möglichst weiten Überblick zu haben, und man verschiebt den Kopf im Innenraum bei geschlossenem Fenster ganz unbewußt von der linken Rahmenseite weg, wenn man nach links, und von der rechten Rahmenseite weg, wenn man nach rechts eine weitere Aussicht zu erfassen sucht.

Durch die mit den Kopfbewegungen verbundenen perspektivischen Verschiebungen der Außendinge (sie werden häufig unwillkürlich herbeigeführt) vermag sich selbst der Einäugige einige Auskunft über die Tiefenanordnung der Teile des Raumdinges vor ihm zu geben; und in der ersten Zeit der Eisenbahnen fielen aufmerksamen Beobachtern bei schneller Fahrt vorbei an den Gegenständen zur Seite der Bahnstrecke häufig sehr merkliche Größenunterschätzungen dieser Gegenstände auf.

Während in den beiden soeben angeführten Beispielen die Drehbewegungen des Auges um den (nicht allzu rasch), zur Seite bewegten Drehpunkt nur durch die Beschaffenheit des gerade betrachteten Raumdinges bestimmt wurden, kommen wir zu dem eigentlichen Gegenstande dieses Abschnitts, wenn wir die Aufgabe stellen, durch eine verhältnismäßig enge Öffnung — etwa ein Schlüsselloch — (Fig. 7a und 7b) in einen nach allen 3 Richtungen ausgedehnten Raum zu sehen.

Da man mit ruhig gehaltenem Kopf nur einen verhältnismäßig engen Winkelraum überschauen könnte, so bewegt man ganz von selbst den Kopf hinter der Öffnung herum, richtet das Auge aber immer so, daß die Gesichtslinie durch die Mitte der lichten Öffnung tritt. Die Drehbewegungen des Auges sind hier also nicht frei sondern mit den Verschiebungen des Kopfes gekuppelt und zwar in einer leicht zn beschreibenden Weise. Stellt man in der Öffnung den Punkt fest, von dem aus der vordere und der hintere Lochrand etwa unter gleichem Winkel erscheinen, so kann man diesen Punkt etwa als Hauptstrahlenkreuzungspunkt I auffassen. Durch I vermag ein von den beiden Lochrändern bestimmtes Hauptstrahlenbündel durch die Wand hindurchzutreten. Kopfbewegungen in dem diesseitigen (augenseitigen) Teile des Bündels führen auf bestimmte Hauptstrahlnei-

gungen w, und wenn man etwa von einer mittleren oder Nullage des Kopfes ($w = 0$) ausgeht, so dreht sich bei einer durch $w = \bar{w}$ bestimmten Hauptstrahlneigung auch bei so behindertem Blick das Auge in seiner Höhle eben um den Drehwinkel $\bar{w}$.

Diese neue Gesichtswahrnehmung mit behindertem Blick weicht übrigens nicht in allen Punkten grundsätzlich vom natürlichen freien Sehen ab: auch hier wird die Öffnung der eingelassenen Bündel durch die Augenpupille bestimmt; das Hauptbild kommt nacheinander auf Grund der Zusammensetzung von Einzelbildern zustande, und die Einzelbilder werden durch den Winkelraum bestimmt, unter dem die gerade wirksame lichte Weite der Lochöffnung von der Mitte der Augenpupille aus erscheint. Daher wird es also kommen, daß die Schlüssellochbeobachtung auch solchen Personen unmittelbar verständlich ist, die keine deutliche Vorstellung von ihrer geometrischen Grundlage haben.

An Unterschieden sei zunächst auf den Fortfall des großen indirekten Sehfeldes hingewiesen, mit dessen Hilfe die Regelung der freien Augendrehung so zweckmäßig vorgenommen wurde. Von besonderer und unterscheidender Wichtigkeit aber ist es, daß der Hauptstrahlenkreuzungspunkt I hier außerhalb des Auges liegt und von ihm nicht verändert werden kann. In dem jenseitigen Raum wirkt in perspektivischer Hinsicht allein das durch die geometrische Begrenzung bestimmte Hauptstrahlenbündel und als Zentrum der Perspektive gilt natürlich der Punkt I. Es handelt sich also um eine von der Lochöffnung gesetzte und von dem hin und her bewegten blickenden Auge nur aufgenommene Perspektive.

In der Tat ist die Anbringung einer solchen Lochöffnung eines der hauptsächlichsten Mittel, eine bestimmte perspektivische Wirkung zu erzwingen, und wenn es beispielsweise darauf ankommt, ein besonders naturgetreu ausgeführtes Gemälde nicht anders als vom richtigen Standpunkt aus betrachten zu lassen — etwa bei einigen Gemälden der Wirtzischen Sammlung in Brüssel —, so hat man schon seit langer Zeit zu dieser Aushilfe gegriffen.

Die Ermittlung der auch in diesem Falle kuglig und zwar konzentrisch zu I angeordneten Schärfenflächen würde keine besondere Mühe machen, doch mag es bei diesem Hinweise bleiben.

Erst nach diesen ziemlich umfangreichen einleitenden Bemerkungen kann man sich zu dem vorliegenden hauptsächlichen Gegenstande wenden und das ist

Die Unterstützung des blickenden Auges durch optische Vorkehrungen.

Da die Anlage unseres Auges mit seiner auf die nächste Umgebung der Netzhautgrube beschränkten Deutlichkeit der Wahrnehmung ein für allemal gegeben ist, so müssen wir auch optische Geräte, sobald sie ein Feld merklicher Ausdehnung

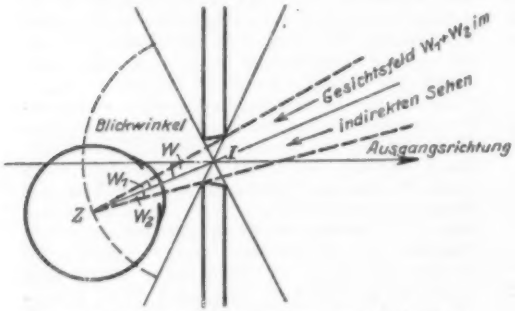


Fig. 7a. Das behinderte Blicken durch die Lochöffnung um I.

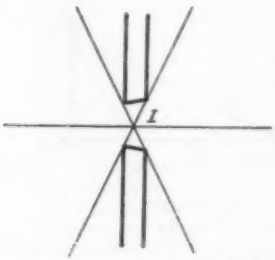


Fig. 7b. Die für die Hauptperspektive des behinderten Blickens maßgebende Lochmitte I.

haben, mit blickendem Auge benutzen, wenn uns in den Seitenteilen des Feldes etwas auffällt. Selbstverständlich sind auch bei den optischen Vorkehrungen der beiden Fälle möglich, daß das gerade vorliegende Stück einen eigenen Strahlengang hat — das ist bei zusammengesetzten Vorkehrungen sogar die Regel —, und daß sein Strahlengang erst durch den Drehpunkt des unterstützten Auges gesetzt wird — hier ist in erster Linie auf die Brille hinzuweisen. Wir wenden uns zunächst zu dem Fall, der bei den zusammengesetzten Vorkehrungen meistens verwirklicht ist, und behandeln:

Die Instrumente mit eigenem Strahlengange.

Hält man das Okularende einer solchen Vorrichtung in genügender Entfernung vom Auge — etwa 30 cm — ruhig fest, während das Objektiv etwa auf den hellen Himmel gerichtet ist, so sieht man in naher Entfernung vor der Okularfassung die Austrittspupille als einen kleinen hellen Kreis in der Luft schweben; man könnte sie dort auch mit einer Mattscheibe auffangen. Setzen wir hier zu leichterer Vorstellung etwa ein Fernrohr voraus, so entspricht der Austrittspupille im Dingraum als

Gegenstand in der Regel die Öffnung in der Objektivfassung in bezug auf die gesamte von Objektiv und Okular zusammen gebildete Linsenfolge des Fernrohres. Es sei hier darauf hingedeutet, daß die Lehre von der Strahlenbegrenzung zeigt, wie man aus der Kenntnis dieser dingseitigen Blende die Abbildungstiefe und die Perspektive des Fernrohres finden kann, während sich mit der aus den Durchmessern beider Pupillen zu ermittelnden Fernrohrvergrößerung die Fälschung der dingseitigen Perspektive ermessen läßt, mit der man die Fernrohrvergrößerung, d. h. die Verdeutlichung ferner Einzelheiten, zu bezahlen hat.

All dieses gehört in den Abschnitt von der Strahlenbegrenzung, und daran soll hier nur erinnert werden. Die ältere Lehre von der Benutzung optischer Vorkehrungen nahm nun an, daß man bei der Benutzung die Augenpupille mit der Austrittspupille der Vorkehrung und ihre Achse mit der Gesichtslinie zusammenfallen lasse, so daß dann ein Netzhautbild von einer Größe entworfen würde, wie sie dem scheinbaren Gesichtsfelde entspräche. Tatsächlich würde man in dieser Weise vorgehen, wenn man — etwa zu Prüfzwecken — das Gesichtsfeld eines bestimmten Fernrohres mit einer kleinen Aufnahmekammer auf der photographischen Platte festhalten wollte.

Aber wenn das Auge auch wie ein kleiner Dunkelkasten gebaut ist, so unterscheidet es sich doch insofern wesentlich von ihm, als es sich beim Gebrauch um seinen Drehpunkt bewegen muß, wenn man überhaupt deutliche Bilder von seitlichen Dingflächenstücken wahrnehmen will. Infolgedessen eignet sich jene Vorschrift der älteren Lehre mit ihrer stillschweigend und irrig gemachten Voraussetzung nicht für die Verbindung von Fernrohr und Auge, sondern man muß auf die im vorhergehenden behandelte Schlüssellochbeobachtung zurückgreifen, um die Einzelheiten richtig zu verstehen. Da an der Beschaffenheit der durch solch ein Fernrohr überhaupt hindurchtretenden Strahlenbündel vom Auge in keiner Weise etwas Wesentliches geändert werden kann, wenn das Auge die größte, ihm unter diesen Umständen mögliche Helligkeit erhalten soll, so muß man es wie vor einem Schlüsselloch vor der Austrittspupille hin- und herbewegen und mit diesen Drehpunktsverschiebungen Augendrehungen kuppeln. Auf diese Weise kann man *nacheinander* das gesamte scheinbare Blickfeld gleichsam absuchen, und man hat noch über den Fall der Schlüssellochbeobachtung hinaus den Vorteil, daß man in jeder Stellung das ganze scheinbare Gesichtsfeld im indirekten Sehen empfängt und danach seine Kopfbewegungen regeln kann.

Es sei hier übrigens darauf hingewiesen, daß der kleine Abstand der Austrittspupille von der Okularfassung noch den Vorteil hat, die notwendigen Kopfbewegungen sehr weitgehend zu beschränken. Denn wenn man sein Auge von dem Lochrand in einer greifbaren Blendenwand aus leicht begreiflichen Gründen einigermaßen weit entfernt halten muß, so gilt das von dem Luftbildchen der Austrittspupille durchaus nicht: sie kann man im Auge, und sogar nahe an der Augenpupille entwerfen lassen, ohne das Auge zu gefährden, und vermindert dadurch die Kopfverschiebungen in einem sehr hohen Maße. Die Größe der Augendrehungen überhaupt ist natürlich durch das scheinbare Gesichtsfeld des Fernrohres bestimmt.

Zu den Bildfehlern sei hier nichts weiter bemerkt, da sie bei der Behandlung der zusammengesetzten Geräte zu beschreiben sind. Nur darauf sei hingewiesen, daß man bei Geräten wie den Mikroskopen, wo die Bildkrümmung infolge überwiegender Sammelwirkungen sehr auffällig ist, bei der Beobachtung in Seitenteilen des Gesichtsfeldes die Feineinstellung spielen läßt, um auch dem seitlich blickenden Auge ein wenigstens nahezu auf den Schärfenkugeln um die Blendenmitte liegendes Bild vorzuführen.

Als eine ergänzende Bemerkung sei noch hinzugefügt, daß man in der gleichen Weise auch Doppelfernrohre mit parallelen Achsen benutzen kann, wenn sie nur eine Vorkehrung haben, den bildseitigen Achsenabstand dem Drehpunktsabstand des Benutzers anzupassen. Und in der Tat hat man diese Notwendigkeit bei den doppelten Erdfernrohren mit ihren kleinen Austrittspupillen schon früh erkannt und durch eine entsprechende Schwenkvorrichtung verwirklicht. Ist das aber geschehen, so kann man die seitlichen Teile der beiden Gesichtsfelder mit denselben kleinen Kopfverschiebungen durchforschen, die bald an das linke Okular die linke Nasenseite pressen, bald die rechte Nasenseite an das rechte.

Zu der räumlichen Auffassung ist hier aber noch ein Zusatz zu machen: während bei einäugiger Beobachtung die Raumvorstellung allein abhängt von der Tiefenvorstellung auf Grund der Erfahrung, kann sich bei einem Doppelfernrohr an nicht allzuweiten Sehdingen eine räumliche, beidäugige Tiefenwahrnehmung einstellen. Obwohl für die beiden einzelnen Abbildsbilder genau das gleiche gilt wie im Falle einäugiger Betrachtung, faßt man, sobald man eine, sei es richtige, sei es umgekehrte, Tiefenwahrnehmung hat, den Bildort am Schnittpunkt der gegen die Lichtrichtung verlängerten bildseitigen Hauptstrahlenrichtungen auf.

Bei Geräten mit selbständigem Strahlengang läßt sich die Austrittspupille nicht in den Drehpunkt des Benutzerauges verlegen.

Aus Fig. 8 sieht man, daß hier alle Hauptstrahlen nach der Mitte P' der Austrittspupille zielen, und zwar ist mindestens für mittlere Neigungen jeder Hauptstrahl die Achse eines nur von der Austrittspupille begrenzten Strahlenzylinders.

Nach den Auseinandersetzungen über die Lage des Luftbildes der Austrittspupille könnte man auf den Gedanken kommen, man müsse, wenn möglich, die Austrittspupille so weit in den Augenraum hinein verlegen, daß man den Augendrehpunkt Z' mit P',

der Mitte der Austrittspupille, zusammenfallen lassen könnte. Indessen haben Versuche, die wir in Jena bald nach dem Hinweis auf den Augendrehpunkt angestellt haben, das Irrtümliche dieses Planes sofort erkennen lassen. Das läßt sich auf folgende Weise einsehen.

Man stellt sich vor dem Augendrehpunkt Z', durch den die Achsen von Strahlenzylindern nach der Größe $2p'$ der Austrittspupille treten, das etwas gehobene (also einen oberen Punkt des Feldes betrachtende) Auge, durch die Pupille P'_a gekennzeichnet (Fig. 9), vor. Alsdann erscheint die Austrittspupille des Auges von Z' aus unter einem bestimmten Winkel $2w'$, wie ihn der Kegel der Hauptstrahlen ausschneidet, der gerade noch von der Austrittspupille durchgelassen wird. Die Randzylinder werden nur mit halber Öffnung durchgelassen und bei einem üblichen Durchmesser der Augenaustrittspupille handelt es sich nur um etwa $11^1/_2{}^\circ$ Ausdehnung. Alle übrigen aus der Augenlinse tretenden Zylinder werden noch stärker oder völlig durch die Augeniris abgeblendet. Dadurch ergibt sich aber eine sehr unerfreuliche Gesichtswahrnehmung, insofern als alle überhaupt sichtbaren Punkte nacheinander deutlich abgebildet werden, daß mithin stets nur ein kleines Feld erleuchtet, die zur Zurechtfindung sehr erwünschte Umgebung aber abgeblendet ist.

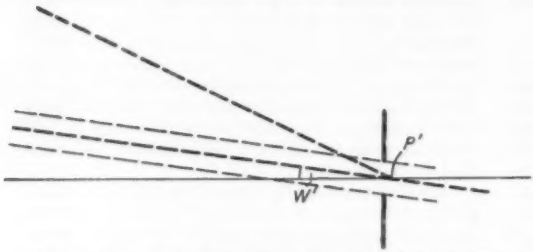


Fig. 8. Ein zu der Hauptstrahlneigung w' gehörender, vollständiger Strahlenzylinder.

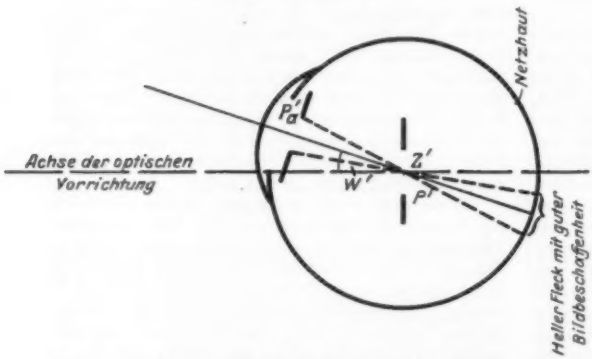


Fig. 9. Ein Übersichtsbild für die gesichtsfeldbeschränkende Wirkung der Austrittspupille P'_a des Auges bei enger Austrittspupille P' des Geräts im Augendrehpunkt Z'.

Damit würde aber der Vorteil, auf die Kopfverschiebungen zu verzichten, zu teuer erkauft sein, und daher gibt man die soeben geschilderte Anlage als unzweckmäßig auf und geht zu der alten Art zurück, wo man die Austrittspupille des Gerätes in die Nähe der Augenpupille bringt und durch sie wie durch ein Schlüsselloch hindurch, aber mit ganz geringen, fast unmerklichen Augenbewegungen die Seitenteile des scheinbaren Gesichtsfeldes auf sich wirken läßt.

Die Benutzung von Geräten mit einem durch den Augendrehpunkt des Benutzers gesetzten Strahlengange.

Nun gibt es aber auch optische Vorkehrungen, bei denen die Austrittspupille — sie läßt sich in diesen Fällen in der Regel nicht auf einer Mattscheibe auffangen — von der augennahen Fassung des Geräts eingerahmt, wie eine Fensteröffnung aussieht. Hierher gehört namentlich das Brillenglas und das holländische Fernrohr, und wir wollen auf jede dieser beiden Vorkehrungen etwas genauer eingehen.

In Fig. 10 sei das holländische Fernrohr schwacher Vergrößerung besprochen. Wir bringen ganz von selbst das Auge möglichst nahe vor die augennahe Okularfläche und wollen annehmen, daß das ganze scheinbare Gesichtsfeld von $2 \times 15^\circ = 30^\circ$ zunächst im indirekten Sehen wahrgenommen wird, wo das Auge der Fernrohrachse entlang schaut, der Augendrehpunkt also ebenfalls auf der Achse, etwa 10 mm hinter der Augenpupille, anzunehmen ist. Da es nun ganz ausgeschlossen ist, daß wir auch nur 5° seitlich von der Achse eine deutliche Gesichtswahrnehmung haben, so drehen wir ganz unwillkürlich unser Auge um seinen Drehpunkt so lange, bis seine Gesichtslinie in dem augenseitigen Hauptstrahl zu dem die Aufmerksamkeit erregenden Punkte liegt. Nach den vorstehenden Überlegungen erkennt man leicht, daß hiermit ein ganz bestimmtes Strahlenbündel, nämlich das Blicklinienbündel aus dem beim Gebrauch gewählten Augendrehpunkt Z' heraus, als augenseitiges Hauptstrahlenbündel ausgewählt wird, und daß die Güte der Leistung des Geräts in hohem Maße von dieser Wahl abhängt.

Wir müssen bei diesen Verhältnissen etwas länger verweilen, da sie natürlich aufgetreten sind, solange man schwache holländische Fernrohre benutzt hat, auch wenn der Beobachter von der Art keine Vorstellung hatte, in der er sein Gerät beanspruchte.

Was die Fehler gegen die Strahlenvereinigung betrifft, so werden besonders auffällig sein die Fehler schiefer Bündel, wie Farbenverschiedenheit

der Vergrößerung, Astigmatismus schiefer Bündel und auch die Verzeichnung. Bei einer nicht achsenrechten Lage des Drehpunkts können sich namentlich ungemein störende einseitige Farbensäume einstellen, die man bei den Fernrohrbrillen von ähnlicher Anlage als deutliche Kennzeichen unrichtiger Anpassung zu besserer Ausrichtung des Geräts in seiner Fassung vor dem Auge verwendet.

Auch bei der Strahlenbegrenzung muß der Drehpunkt berücksichtigt werden. Die bisher am sorglichsten ausgeführte Behandlung der Strahlenbegrenzung am holländischen Fernrohr stammte von S. CZAPSKI, und sie ist vollkommen zutreffend, wenn man etwa einen kleinen Dunkelkasten mit einer auf 2—3 mm abgeblendeten Eintrittspupille dicht hinter ein holländisches Fernrohr schaltet, z. B. um dessen scheinbares Gesichtsfeld aufzunehmen. Bei der eigentlichen Benutzung eines solchen schwachen Fernglases aber liegen, wie wir oben sahen, die Verhältnisse ganz anders, weil ein festes Gerät mit einem während des Gebrauchs bewegten Auge verbunden wird, was eben aus der P 112 mm und Z 160 mm vom Objektiv aus in der Richtung auf das Okular zu, wie es auch sein muß, in dem $2^2 = 4$ fachem Abstand von P' und Z', und man erkennt, daß das Gesichtsfeld des ruhenden Auges $\frac{160}{112} = 1{,}4$ mal so groß ist als das des blickenden, natürlich gilt genau die gleiche Zahl auch von dem scheinbaren Gesichtsfeld und dem scheinbaren Blickfeld.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Behandlung des holländischen Fernrohrs in der Verbindung mit den blickenden Auge zuerst von A. GULLSTRAND als notwendig hervorgehoben worden ist.

Die wichtigste optische Vorkehrung, die mit blickendem Auge benutzt wird, ist aber das Brillenglas, zugleich das verbreitetste und älteste optische Hilfsmittel überhaupt. Hier wird das scheinbare Blickfeld durch den inneren Rand der Glasfassung begrenzt, wenn eine solche überhaupt vorhanden ist, bei Glasbrillen also durch die Randkante selber. Die Blicklinien des bewegten Auges geben die bild-

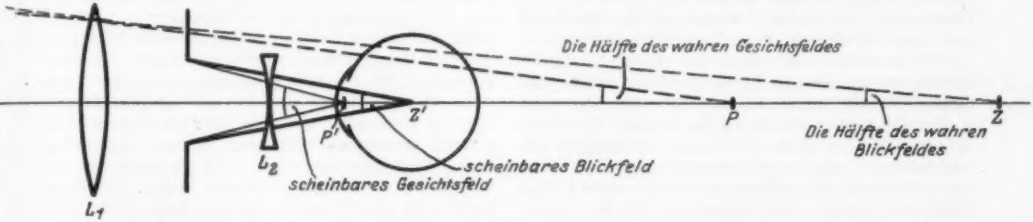


Fig. 10. Blick- und Gesichtsfeld auf der Ding- und der Augenseite eines schwachen holländischen Fernrohrs.

alten ABBEschen Lehre herausfällt, die zwar die beim Gebrauche ruhenden Geräte völlig einschließt, aber das blickende Auge nicht umfaßt. Daß sich gewisse Abweichungen einstellen, zeigt schon ein Blick auf die Strahlungsvermittlung. Während nämlich ein Flächenstückchen zur Seite der Achse, dem ein scheinbarer Abstand von 10° zukommen möge, in die ruhende Pupille einen elliptischen Zylinder schickt, dessen große Achse zwar 3 mm ist, dessen kleine Achse aber nur 3 mm × cos 10° beträgt, erhält das lebende in diese Richtung des Bildraumes gewandte Auge genau wie in der Mittelstellung einen Zylinder mit kreisförmiger Grundfläche von 3 mm Durchmesser.

Hier sei nur noch auf die perspektivischen Grundlagen hingewiesen. Man suche etwa bei einem besonders einfachen holländischen Fernrohr mit 60 mm Objektiv- und 30 mm Okularbrennweite in einem Abstande von 30 mm, wo die Gesamtbrennweite, wie es auch sein muß, unendlich groß ist, die für die Strahlenbegrenzung auf der Dingseite maßgebenden Punkte auf, d. h. also die scheinbare Mitte der Augenpupille und den scheinbaren Augendrehpunkt. Dabei sei angenommen, daß die Pupille P' 13, der Augendrehpunkt Z' 25 mm von der letzten Okularfläche entfernt sei. Dann liegt seitigen Hauptstrahlen am Brillenglase ab, und man erkennt ohne weiteres, daß die Lagerung des Augendrehpunktes zum Brillenglase für die bei der Benutzung auftretenden Fehler schiefer Bündel bestimmend ist. Obwohl in frühen Zeiten tappende Verbesserungsversuche gemacht wurden, die zuerst auf Gläser mit einer Planfläche, dann auf Menisken führten, deren Anlage 1804 durch W. H. WOLLASTON auf eine den damaligen Ansprüchen genügende Grundlage gestellt wurden, kam man in der Theorie zunächst nicht weiter. Da die bewunderungswürdigen Darlegungen L. SCHLEIERMACHERS zu den Vertretern der technischen Optik nicht durchdrangen, so geht die neuzeitige, in Jena seit dem Januar 1908 gepflegte Behandlung des Brillenglases für das blickende Auge auf eine 1898 durch FR. OSTWALT gelieferte Anregung zurück. Namentlich die Behandlung der zweifach symmetrischen Gläser zur Hebung des Augenastigmatismus bereitet im Hinblick auf die vollständige Hebung der Fehler schiefer Bündel gewisse Schwierigkeiten.

An dieser Stelle, wo die perspektivischen Besonderheiten in erster Linie von Wichtigkeit sind, sei bemerkt, daß die Brillengläser wegen ihrer nicht verschwindenden Entfernung vom Hornhaut-

scheitel die Tiefenvorstellung ändern müssen, und zwar die zerstreuenden im Sinne einer Übertreibung, die sammelnden im Sinne einer Abflachung der Tiefenwerte. Bei astigmatischen Brillen sind die Änderungen der Winkel w in w' sogar in zwei zueinander senkrechten Ebenen durch die Hauptachse des Brillenglases ganz verschieden, und es kann gelegentlich dadurch eine Verschiedenheit der Augenwendwinkel beider Augen herbeigeführt werden, die zu deutlicher Fälschung der Tiefenwahrnehmung Anlaß gibt. Immerhin pflegt man sich bei dauerndem Tragen der Brille, deren Raumvorstellung ja durch die Greifbewegungen der eigenen Hände u. a. m. ständig berichtigt wird, an die fehlerhafte Wiedergabe zu gewöhnen und ihre Wirkung unwillkürlich auszuschalten.

Bericht über die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre.

Von WERNER KOLHÖRSTER, Berlin.

Zusammenfassende Darstellungen über die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre sind zum ersten Male 1912 von GOCKEL[1]), BRAUN[2]), STRONG[3]) und CHAUVEAU[4]) erschienen, sodann 1924 von KOLHÖRSTER[5]) und WIGAND[6]). In dieser Zeitschrift haben KÄHLER[7]) 1914 und LUDEWIG[8]) 1918 den derzeitigen Stand des Problems behandelt. Es wären daher hier nur die Arbeiten von 1918 bis Mitte 1925 zu besprechen. Da jedoch LUDEWIG im wesentlichen nicht über die Literatur bis etwa 1915 hinausgeht, so soll der Vollständigkeit halber bis auf diesen Zeitpunkt zurückgegriffen werden.

Bekanntlich mißt man die durchdringende Strahlung an der Ionisierungsstärke eines von dicken Metallwänden eingeschlossenen Gasvolumens. Zu diesem Zweck ist im Inneren der Ionisationsgefäße eine isolierte Elektrode oder gleich ein Elektrometer angebracht, das man durch eine Ladesonde aufladen und ablesen kann, ohne das Gefäß öffnen zu müssen. Man beobachtet den Potentialabfall des isolierten Systems, während das Gehäuse geerdet ist; oder dessen Aufladung, wenn das Gehäuse auf konstanter hoher Spannung gehalten wird, nachdem vorher das Elektrometer geerdet war. Aus der gewonnenen Spannungsänderung, der Kapazität und dem Volumen läßt sich mit Hilfe der Elementarladung die Anzahl der Ionen im Kubikzentimeter und in der Sekunde ermitteln, die Ionisierungsstärke I. Sie wird hervorgerufen von den von außen in das Gefäß eindringenden γ-Strahlen radioaktiver Substanzen, deren α bzw. β-Strahlen in den entsprechend stark gehaltenen Wandungen völlig absorbiert werden. Je nach der Herkunft der γ-Strahlen von den radioaktiven Substanzen des Bodens oder der Luft bezeichnet man ihre Wirkungen als Erd- oder Luftstrahlung. Dazu tritt, am Boden und geringer Höhe wenig wahrnehmbar, in größerer Erhebung dagegen verstärkt anwachsend, die Höhenstrahlung. Aber selbst wenn man diese 3 Komponenten völlig ausschaltet, bleibt noch eine, leider recht große, Leitfähigkeit des Gasinhalts dauernd vorhanden, die man Rest- oder auch Eigenstrahlung der Gefäße nennt. Sie dürfte von Spuren radioaktiver Verunreinigungen, daneben vielleicht auch von der Eigenaktivität des verwendeten Materials herrühren. Schließlich sind bei den Messungen — es handelt sich um elektrostatische Strommessungen von der Größenordnung 10^{-15} Ampere — noch die recht geringen, meist nur wenige Prozente betragenden Isolationsverluste zu berücksichtigen. Alle diese Komponenten machen zusammen etwa eine Ionisierungsstärke von $7-10$ I aus. Es handelt sich also um Beobachtungen, die zwar im Prinzip recht einfach erscheinen, die aber in der Ausführung heikel und schwierig sind, weil sie meist an der Grenze des noch eben Meßbaren liegen. Daher ist gerade für diese Untersuchungen jeder Fortschritt in der Verbesserung der Instrumente von besonderer Bedeutung und rechtfertigt die hier im Folgenden getroffene Einteilung, wonach zunächst Instrumente, dann Beobachtungen behandelt werden, worauf der Abschnitt über die Hypothesen folgt.

Instrumente: Von transportfähigem Gerät ist der von KOLHÖRSTER besonders für Ballonfahrten neukonstruierte WULFsche Strahlungsapparat weiter von ihm verbessert und zuletzt auf einer Hochfahrt bis 9300 m erprobt worden (Fig. 1). Auch für Dauerbeobachtungen und Absorptionsversuche unter Wasser hat er sich als zuverlässig und störungsfrei arbeitend erwiesen. Er besitzt, wie bereits die erste Konstruktion, magnetische Ladesonde, ist jedoch insofern prinzipiell geändert worden, als der Träger für das Elektrometer mitsamt dem *Ab*lesemikroskop an einer Platte befestigt ist, wodurch Druckeinflüsse jeglicher Art ausgeschlossen werden. Ferner ist die Temperaturkompensation durch Verwendung von Quarz und Nickelstahl soweit vervollkommnet worden, wie es bei einer Kompensation möglich sein kann. Aus dem Bestreben, auch diese noch zu vermeiden, konstruierte KOLHÖRSTER schließlich ein neues Elektrometer, bei dem jegliche Temperaturkompensation unnötig wird. Mit solchen Instrumenten ausgerüstete Strahlungsapparate hat er dann zu seinen Beobachtungen am Jungfraujoch 1923 und 1924 verwendet (Fig. 2).

[1]) A. GOCKEL, Jahrb. d. Rad. u. Elektr. **9**, 1. 1912.
[2]) K. BRAUN, Jahrb. d. Rad.u. Elektr. **9**, 204. 1912.
[3]) W. W. STRONG, Terr. Magn. a. Atm. El. **17**, 49. 1912.
[4]) A. B. CHAUVEAU, Le Radium **10**, 17 und 69. 1913.
[5]) W. KOLHÖRSTER, Die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre. Hamburg 1924.
[6]) A. WIGAND, Phys. Zeitschr. **25**, 445. 1924.
[7]) K. KÄHLER, Die Naturwissenschaften **2**, 501. 1914.
[8]) P. LUDEWIG, Die Naturwissenschaften **5**, 89 und 101. 1918.

Von größeren, nicht ohne weiteres transportfähigen, meist registrierenden Instrumenten sind in der Berichtszeit verschiedene Konstruktionen ausgeführt und in Gebrauch genommen worden. In Verbindung mit einem Registrierapparat hat BERGWITZ die erste Neukonstruktion des WULF-KOLHÖRSTERschen Apparates gebracht, während KOLHÖRSTER einen großen Ionisationszylinder mit einem WULFschen Einfadenelektrometer für JENSEN in Hamburg zusammengestellt hat, eine Anordnung, bei der nach der Auflademethode gearbeitet wird. Nach derselben Methode verfährt ISING, der ein hochempfindliches Fadenelektrometer eigener

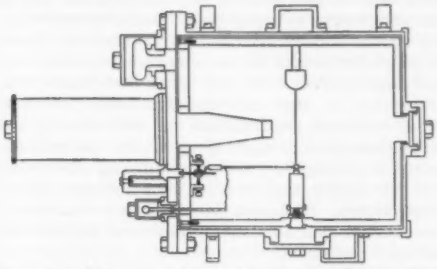


Fig. 1. Strahlungsapparat nach KOLHÖRSTER. Type III.

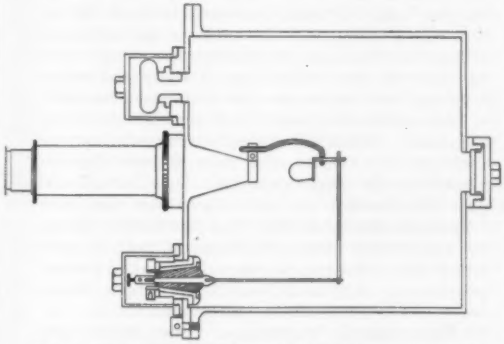


Fig. 2. Strahlungsapparat nach KOLHÖRSTER. Type IV.

Konstruktion, ähnlich dem LUTZschen Einfadeninstrument alter Bauart als Nullinstrument verwendet, indem er die Elektrometerausschläge durch einen veränderlichen Luftkondensator ausgleicht. GOCKEL benutzte ein großes Ionisationsgefäß mit BENNDORF-Elektrometer, dem von luftelektrischen Beobachtungen her bekannten, mechanisch registrierenden Quadrantelektrometer. Als Mikroquadrantelektrometer ist das HOFFAMNNsche Instrument anzusprechen, das empfindlichste Instrument, welches wir zur Zeit besitzen. In Verbindung mit besonderen Ionisationsgefäßen hat HOFFMANN in letzter Zeit Beobachtungen der durchdringenden Strahlung mit dieser Anordnung begonnen. Jedoch ist der ganzen Sachlage nach dies Gerät nur im Laboratorium verwendbar, vor allem muß es gegen Wärmeeinflüsse sehr sorgfältig geschützt werden.

Vereinzelt sind in der Berichtszeit auch noch Arbeiten mit älteren Elektrometerkonstruktionen ausgeführt worden, wie z. B. die von MARSDEN, der WILSONsche kompensierende Goldblattelektrometer benutzte oder die von KUNSMAN, der einfache Blattelektrometer verwendete.

Betreffs der Ionisierungsgefäße war ja bereits seit langem bekannt, daß Zink elektrolytisch verzinkt, die niedrigsten Werte der Eigenstrahlung liefert. Aluminium und Eisen kommen ihm fast gleich, während Kupfer und die schweren Metalle, Zinn, Wismut und Blei, beträchtlich höhere Ionenzahlen liefern, wie auch die neuen Messungen von MARSDEN und von KOLHÖRSTER wieder gezeigt haben. Die Ionisationsgefäße sind daher meistens aus Zink hergestellt worden. Denn es ist bei den geringen Effekten von Bedeutung, die Eigenstrahlung, die nur unnützen Ballast bedeutet, so klein als nur irgend möglich zu halten, damit die anderen schwachen Strahlungskomponenten, die gleichzeitig mitgemessen werden müssen, um so sicherer bestimmt werden können. Deren Wirkung beruht hauptsächlich auf der von ihren γ-Strahlen an den Gefäßwandungen erzeugten sekundären β-Strahlung. Die Ausbeute an Sekundärstrahlen wächst mit der Atomnummer der verwendeten Metalle, also würde man vorteilhafter die Ionisationsgefäße aus schwereren Metallen als Zink herstellen. Doch wird die Eigenstrahlung dabei meist über das zulässige Maß erhöht. Neues Blei, Zinn und Wismut haben sich stets als ungeeignet erwiesen, altes Blei ist gerade noch brauchbar, ebenso möglichst thorfreies Wolfram (KOLHÖRSTER). Altes Blei erhöht die Ionisationswirkung um etwa das Doppelte gegenüber gleichartigen Aluminium- bzw. Zinkgefäßen, ebenso wie eine 0,3 mm dicke Schicht aus Wolfram. Jedoch fand KOLHÖRSTER bei weiteren Versuchen das zunächst merkwürdig erscheinende Ergebnis, daß die Verstärkung durch Wolfram gegenüber Zink nur noch die Hälfte beträgt, wenn die zur Messung benutzten γ-Strahlen des *RaC* erst durch 2 cm Blei gehärtet werden. Dasselbe hatte sich auch bei seinen Messungen mit der Höhenstrahlung gezeigt, deren Wirkung in Wolframgefäßen nicht um 100, sondern nur um etwa 50% vergrößert wurde. Dies würde also wieder auf die außerordentliche Härte der Höhenstrahlung hindeuten, für die eine Wolframschicht von 0,3 mm anscheinend zu dünn ist, um das Maximum der Austrittsstrahlung liefern zu können. Auch dürfte bei sehr harten Strahlen der Unterschied des Materials weniger in Frage kommen. In entsprechender Weise mag man die Ergebnisse von MARSDEN deuten. Seine mit altem Blei ausgelegten und mit schwefliger Säure als Füllgas beschickten Ionisationszylinder lieferten bei Eichung mit ungefilterten γ-Strahlen des RaC eine Zunahme von 3,7 : 1 gegenüber Messing als Wandmaterial. Bei Beobachtungen auf dem Ruapehu in Australien (2800 m) fand er jedoch kaum eine

Zunahme der Höhenstrahlung, ein Ergebnis, das in erster Linie wohl auf ungünstige Beobachtungsbedingungen zurückzuführen ist, sodann auf das schon erwähnte Verhalten der harten Strahlen.

Das zweite Mittel zur Steigerung der Ionisationswirkung, die Verwendung dichterer Füllgase als Luft, war bereits eben erwähnt worden. Wegen der in dichteren Gasen vermehrten Absorption müßte auch stärkere Ionisationswirkung eintreten. Doch dürfte diese nicht auf eine direkte Wirkung der primären γ-Strahlen auf das Gas oder der corpuscularen Sekundärstrahlung von seiten des Gases unter dem Einfluß der Primärstrahlen zurückzuführen sein. Denn SWANN, DOWNEY und FRUTH haben aus ihren Versuchen über die Ionisation von Gasen unter wachsendem Druck schließen können, daß beträchtlich weniger als 1 *I.* durch diese Effekte bei Atmosphärendruck erzeugt wird. Vielmehr werden unter diesen Verhältnissen die sekundären Corpuscularstrahlen der Wandungen, die eine ganz erhebliche Reichweite besitzen, besser ausgenutzt, während die Eigenstrahlung des Wandmaterials — wahrscheinlich α-Teilchen und andere weiche Strahlen — in ihrer Wirkung im großen und ganzen gleich bleiben. Es erscheint merkwürdig, daß von diesen günstigen Bedingungen bisher nur so vereinzelt Gebrauch gemacht wurde, wenigstens berichten nur MARSDEN und KOLHÖRSTER und HOFFMANN über Verwendung von schwefliger Säure bzw. Kohlensäure. Der Grund hierfür dürfte zum Teil in dem noch wenig erforschten Verhalten solcher Gase liegen, bei denen man, besonders außerhalb des Laboratoriums, Komplikationen befürchtet. Wenigstens berichtet MARSDEN, daß er mit solchen Instrumenten bei Beobachtungen am Apia-Observatorium auf Samoa in Seehöhe von Tag zu Tag unregelmäßige Schwankungen von mehr als $\pm$ 30% gegenüber dem Mittel fand, die vermutlich als Störungen anzusprechen sind. KOLHÖRSTER hat bei Kohlensäure dergleichen bisher nicht beobachten können.

Die erwähnten Anordnungen gehen also darauf hinaus, die Ionisationswirkung der γ-Strahlen zu erhöhen und damit die Meßgenauigkeit zu steigern; zu gleichem Zweck versucht man die Eigenstrahlung möglichst zu verringern. Man kann annehmen, daß ihre stark ionisierenden Strahlen rund 5 cm von den Wandungen ins Innere der Ionisationsgefäße reichen. Ihr Einfluß tritt also mit Vergrößerung der Abmessungen der Gefäße mehr und mehr zurück. Darauf lassen sich wenigstens teilweise die geringen Ionisierungsstärken zurückführen, die man mit größeren Ionisationskammern neuerdings erzielt hat (BERGWITZ gelangte bis 0,8 *I.*). Muß man sich mit kleineren Abmessungen begnügen, so kann man gleiche Wirkungen durch Erhöhungen des Gasdrucks im Ionisationsgefäß erreichen. Doch bietet das Arbeiten dann technisch immer die große Schwierigkeit, die Gefäße über längere Zeit auch wirklich gasdicht zu erhalten, und ist daher noch wenig in Gebrauch gekommen. In den oben erwähnten Arbeiten von DOWNEY und FRUTH haben derartige Ionisationskammern bis zu Drucken von 70 Atmosphären gedient. Wahrscheinlich verwenden auch MILLIKAN und seine Schüler zu ihren Registrierapparaten für Pilotballone dieses Prinzip, um die Instrumente möglichst leicht zu haben. In anderer Weise hat KOLHÖRSTER die Wandstrahlung herabzusetzen versucht, indem er durch dünnes Papier die α-Teilchen der Gefäßwände absorbieren ließ. Daneben geht natürlich auch ein Teil der corpuscularen Sekundärstrahlung der Wände verloren, aber trotzdem bietet die Papiereinlage, besonders bei Wolfram- und Bleiwänden Vorteile. Ähnliche Wirkungen erzielt HOFFMANN, indem er im Innern des Gefäßes ein weitmaschiges Drahtnetz anbringt. Die weiche Eigenstrahlung der Metallwände dringt nicht in das Innere des so abgegrenzten Volumens und das zwischen Netz und Wand bestehende Feld vernichtet die hier entstehenden Ionen, die also nicht mehr durch Diffusion in den eigentlichen Ionisationsraum dringen können. Die dadurch absichtlich verringerte Ionisationswirkung wird durch erhöhte Empfindlichkeit der Elektrometer wieder ausgeglichen. Leider bleibt bis heute noch die Verwendbarkeit solcher Anordnungen auf das Laboratorium beschränkt.

Schließlich ist in diesem Zusammenhange noch anzuführen, daß der Unterschied im Verhalten leichter und schwerer Substanzen dazu dienen kann, die Richtung der von außen in das Gefäß eindringenden Strahlen zu bestimmen. Wenn man nämlich die eine Hälfte der Ionisationskammer z. B. aus Blei, die andere aus Aluminium herstellt, so beobachtet man unter sonst ganz gleichen Verhältnissen verschiedene Ionisierungsstärken, je nachdem die Blei- oder Aluminiumhälfte der Strahlenquelle zugewandt ist. Dies beruht auf dem Unterschied in der Stärke der von den γ-Strahlen erzeugten Ein- und Austrittsstrahlung bei verschieden dichten Substanzen, doch ist man bisher über etwa 10% Differenz noch nicht hinausgekommen. Mit derartigen Anordnungen haben ISING, SWANN, HERRICK gearbeitet.

Experimentelle Ergebnisse: Wie bereits angedeutet, hatte man bei der durchdringenden Strahlung, d. h. bei der Messung der Ionisation im geschlossenen dickwandigen Gefäß, die Trennung der einzelnen Komponenten in Erd-, Luft- und Höhenstrahlung schon früher durchgeführt und daneben auch die Erdstrahlung unterschieden. Zu ihr gehören alle die Wirkungen, die von einer selbständigen Ionisation der Gasfüllung, von radioaktiven Verunreinigungen des Gases und von der Eigenstrahlung der Gefäßwände herrühren können.

Eine selbständige Ionisation der Gasfüllung durch die Wärmebewegung der Moleküle muß, nachdem BERGWITZ 0,8 *I.* für die gesamte Reststrahlung in Zinkgefäßen bei seinen Beobachtungen im Steinsalzgebirge unter Tage gefunden hatte, unter diesem Werte liegen. LANGEVIN und REY berechneten unter bestimmten Voraussetzungen schon früher einen Ausdruck hierfür, fanden

aber, daß er mit den Beobachtungen keine Übereinstimmung zeigte und schlossen daraus, daß die Wärmebewegung bei gewöhnlicher Temperatur nicht in Betracht käme. WOLFKE und auch KINGDON kamen zu entgegengesetztem Schluß, jedoch konnte KINGDON keine experimentellen Beweise für die Richtigkeit seiner Formeln aus eigenen, zu diesem Zweck unternommenen Versuchen beibringen. Ganz allgemein hat dann VON HAUER das Problem gefaßt, wodurch er zu Ausdrücken geführt wurde, die erst bei Temperaturen von 2000° herum einen Einfluß der Wärmebewegung auf die Ionisation der Gase erwarten lassen und bei niedrigeren Temperaturen in Übereinstimmung mit den Beobachtungsergebnissen (z. B. KINGDON) sind. Die Wärmebewegung trägt also bei den gewöhnlichen Temperaturen nicht zur Ionisation bei, und die Frage dürfte danach im negativen Sinne entschieden sein.

Der Einfluß des Emanationsgehaltes der Gasfüllung ist im Gegensatz zum Temperatureffekt erheblich, gut nachweisbar und daher längst erkannt. Er ist durch sorgfältiges Altern der Füllgase oder durch Absorption bzw. Kondensation der in ihnen enthaltenen Emanationen unschwer zu vermeiden. Es sei angeführt, daß von SCHWEIDLER eine Methode der Bestimmung des Emanationsgehaltes der Außenluft hierauf begründet hat.

Bleibt also nur die Eigenstrahlung der Gefäßwände übrig und damit die Berechtigung, die Reststrahlung als Eigenstrahlung zu bezeichnen, wie es manchmal geschieht. Sie kann ihren Grund in einer wahren Eigenaktivität der verwendeten Metalle oder in radioaktiven Verunreinigungen oder in beiden zusammen haben. Während man aber früher ziemlich allgemein an radioaktive Infektionen dachte, zieht man neuerdings wieder eine Eigenaktivität der Metalle in Betracht, besonders als HOFFMANN mit Versuchen hervortrat, die eine Eigenaktivität des Platins anzudeuten scheinen. Sodann hat sich bei den neueren Untersuchungen verschiedener Metallsorten auf ihre Brauchbarkeit zu Ionisationsgefäßen doch wesentlich bessere Übereinstimmung ergeben als früher gefunden worden war. Im Verein mit der Anschauung, die Radioaktivität als eine aller Materie innewohnende Eigenschaft zu betrachten, eine Ansicht, die neuerdings wieder von NERNST sehr betont wird, scheint man dieser Frage heute bei weitem weniger ablehnend gegenüber zu stehen, als es noch bis vor kurzem der Fall war. Daß nur die beiden Gesichtspunkte, wahre Eigenaktivität oder radioaktive Verunreinigung, nicht bloß eine vorübergehende Infektion durch kurzlebige Radioprodukte, für die Eigenstrahlung in Betracht kommen, dürfte schon daraus hervorgehen, daß die Eigenstrahlung selbst über längere Zeiten merklich konstant bleibt. So berichtet z. B. KOLHÖRSTER, daß sein Strahlungsapparat III über 6 Jahre völlig konstante Eigenstrahlung aufwies. Selbstverständlich wurde das Instrument von radioaktiven Infektionen peinlichst geschützt und völlig geschlossen gehalten, war aber dauernd zu allen möglichen Versuchen ein Freiballon, im Wasser und am Erdboden im Gebrauch.

Von der *Luftstrahlung* war bereits seit EVE bekannt, daß sie nur wenige Zehntel Ionen zur Ionisation im geschlossenen Gefäß beiträgt. Das wurde auch wieder rechnerisch sowie experimentell in der Berichtszeit von KOLHÖRSTER bestätigt. Ihre Wirkung ist nicht leicht nachweisbar, und da kein weiteres Interesse für sie vorliegt, so hat man sich auch verhältnismäßig wenig mit ihr beschäftigt. Nach den direkten Emanationsbestimmungen, die bis etwa 4 km Höhe in Luftfahrzeugen von WIGAND und WENK ausgeführt worden sind, nimmt zudem der Gehalt der Luft an aktiven Substanzen noch viel schneller ab, als man theoretisch hätte voraussehen können (HESS und SCHMIDT). Daher kommt die Luftstrahlung in etwas größerer Erhebung vom Erdboden noch bedeutend weniger in Betracht als in Bodennähe. In Zusammenhang mit diesen Fragen ist wiederholt geprüft worden, ob Ionisationsgefäße dadurch, daß sie längere Zeit auf Spannung gehalten werden, nicht eine merklich höhere Zerstreuung erwerben. Dabei würden sich nämlich die aktiven Substanzen der Freiluft auf den Außenwandungen in größerer Menge bis zum Gleichgewicht niederschlagen und verstärkt strahlen. GOCKELS Versuche haben diese Frage verneint, dagegen gelangte BERGWITZ bei Ausschaltung der Erdstrahlung durch Steinsalz zu positivem Ergebnis, wonach einige Zehntel Ionen von den aktiven Niederschlägen der Luft auf der Außenwand der Gefäße herrühren können. Da diese von den radioaktiven Substanzen des Erdbodens stammen und die gegenteilige Ansicht von BONGARDS, daß Emanationsmengen vom Kosmos her in die Atmosphäre bis in tiefere Luftschichten dringen, mit WIGAND und WENK abzulehnen ist, so müssen wir vorerst an der Tatsache festhalten, daß die Luftstrahlung gegenüber den anderen Komponenten nur untergeordnete Bedeutung besitzt.

Das der *Erdstrahlung* in der Berichtszeit erwiesene Interesse beruht auch mehr auf Nützlichkeitsgründen als auf allen anderen. Denn die Kenntnis ihres Verhaltens, wenigstens in großen Zügen, ist unerläßlich, will man nicht Beobachtungen der durchdringenden Strahlung durch umständliche Abschirmungen und dergleichen andere Komplikationen dauernd erschweren. Zudem ist sie mit ihrer Ionisierungsstärke von 2—3 Ionen und den starken von der Bodenbeschaffenheit und besonders den meteorologischen Einflüssen abhängigen Schwankungen für die Änderung der Ionisation in geschlossene Gefäße nahe am Erdboden in erster Linie verantwortlich. Messungsreihen der durchdringenden Strahlung, also der gesamten Komponenten, sind von BERGWITZ in Braunschweig, GOCKEL in Freiburg (Schweiz), KÄHLER in Kolberg und HESS und KOFLER auf dem Obir (2000 m) durchgeführt worden. Mit dem ausgesprochenen Zweck des Studiums der Erdstrah-

lung in ihrem Verhalten zu den meteorologischen Elementen hat KOLHÖRSTER über $1^1/_4$ Jahr lang in Waniköi bei Konstantinopel gemessen, während OBERGUGGENBERGER in der Nähe von Innsbruck die örtliche Abhängigkeit der durchdringenden Strahlung von den anstehenden Gesteinsformationen studiert hat. Gegenüber den älteren Messungsreihen weisen diese neueren eine erfreuliche Einheitlichkeit in bezug auf die verwendeten Instrumente auf, die mit dem WULFschen bzw. WULF-KOLHÖRSTERschen Apparaten gewonnen wurden. Auch trotz der erheblichen örtlichen Unterschiede sind die Ergebnisse im allgemeinen soweit übereinstimmend, daß sie zusammenfassend besprochen werden können.

Die von allen Beobachtern nunmehr einwandfrei nachgewiesene *jährliche Periode* der Gesamtstrahlung — unter der Annahme, daß die Eigenstrahlung konstant bleibt und die Höhenstrahlung in Erdnähe nur unwesentlich schwankt, sind diese Änderungen der Erdstrahlung zuzuschreiben — hat einzelne von KOLHÖRSTER diskutiert und sei hier kurz zusammengefaßt. Niederschläge, gleich in welcher Form, erhöhen zunächst immer die Werte der Strahlung; die mit ihnen verbundene Verminderung der Bodendurchlässigkeit tritt dem bald entgegen. Dies ist auch der Grund für die geringeren Intensitäten bei gefrorenem Boden. Luftdruck und -gang zeigen entgegengesetztes Verhalten zur Strahlung, besonders ausgeprägt im täglichen Gang. Gleichsinnig ist die Beziehung zur Temperatur und zum Dampfdruck, bei diesem nur scheinbar, denn die relative Feuchtigkeit spielt nur eine sehr bescheidene Rolle, so daß selbst Nebel kaum eine Zunahme herbeiführt. Deutlicher zeigt sich der entgegengesetzte Gang zur Bewölkung, der also mit der Einstrahlung parallel verläuft. Die Beziehung zur Windgeschwindigkeit ist in Waniköi recht ausgeprägt, in dem Sinne, daß der Wind saugende Wirkung auf die Bodenluft ausübt, wobei die Bodendurchlässigkeit, beeinflußt durch die vorangegangene Witterung, stark ins Gewicht fällt.

Anders dagegen auf dem während längerer Zeit im Jahre vereisten Gipfel des Obir, wo aus diesem

achtungsreihen angeführt wurden; die über 4 Monate sich erstreckenden, sonst aber recht ausführlichen Registrierungen von BERGWITZ mußten daher wegbleiben. Für die tägliche Periode sind allein die Ergebnisse von Waniköi wiedergegeben. Denn nur diese Reihe hat genügend zahlreiche Termine (bis zu 12), während HESS und KOFLER 5 mal, KÄHLER 2 mal am Tage beobachteten. Die angegebenen Zahlen der Tab. 2 beziehen sich auf osteuropäische Zeit (MEZ = OEZ. — 1 Stunde).

Die Erklärung für die Perioden folgt aus dem Vergleich der Strahlung mit den meteorologischen Elementen; sie beruht auf der Verlagerung aktiver Substanzen in den obersten Bodenschichten unter dem Einfluß der Bodenatmung, hervorgerufen durch die Druckschwankungen der Luft in den Erdcapillaren gegenüber der Außenluft. Die Änderungen sind also von der Witterung und der physikalischen Beschaffenheit, insbesondere der Durchlässigkeit und Erwärmung des Erdbodens abhängig. Dies Verhalten wird an der Reihe von Waniköi bis ins

Tabelle 1. *Jährliche Periode der durchdringenden Strahlung.*

Beobachter	Ort	Zeit	Jahresmittel	Maxima	Minima	Amplitude	% des Jahresmittels
Hess und Kofler	Obir (2000 m)	1913/4	11,1 *J*	11,4 *J* (Aug.)	10,8 *J* (April)	0,6 *J*	5,4
Gockel	Freiburg (500 m)	1914/5	11,4 *J*	12,2 *J* (Juni)	10,7 *J* (Febr.)	1,5 *J*	13,1
Kolhörster . .	Waniköi (115 m)	1916/8	7,6 *J*	7,8 *J* (Juni)	7,3 *J* (Jan.)	0,5 *J*	6,6
Kähler	Kolberg (10 m)	1914/5	7,5 *J*	7,6 *J* (Sept.)	7,3 *J* (Febr.)	0,3 *J*	4,0

Tabelle 2. *Tägliche Periode der durchdringenden Strahlung in Waniköi* (1916/8). *Mitternacht 0h.*

	Erste Schwingung Maxima	Minima	Amplitude	Zweite Schwingung Maxima	Minima	Amplitude
Gesamtmittel	15—16h	9h	0,77 *J*	4—5h	0—1h	0,12 *J*
Sommer	16h	8h	1,07 *J*	4h	1—2h	0,04 *J*
Winter	15h	9—10h	0,56 *J*	5h	0h	0,13 *J*

im Sommer ihr Maximum und im Winter ihr Minimum mit einer Amplitude von etwa 20% ihres Mittelwertes von 2,5 *I.*; die Einzelwerte schwanken im Sommer stärker als im Winter. Hierzu sei bemerkt, daß die jährliche Periode auch für feinere Ionisationsmessungen im Laboratorium in Betracht zu kommen scheint. Denn KOHLRAUSCH fand bei seinen Untersuchungen über γ-Strahlen eine regelmäßige Zunahme der natürlichen Zerstreuung vom Winter zum Sommer.

Die *tägliche Periode* zeigt eine doppelte Welle mit Maxima gegen 15h und 4h, Minima gegen 9h und 1h. Die Eintrittszeiten der Extreme schwanken um diese Stunden mit der Jahreszeit von Monat zu Monat, örtlich beeinflußt von der Bodendurchlässigkeit. Die Amplitude der Hauptschwingung wächst mit zunehmender und fällt mit abnehmender Jahreszeit, während sie sich bei der zweiten Schwingung umgekehrt verhält und im Winter deutlicher hervortritt. GOCKEL konnte, abweichend von allen anderen Beobachtern, eine tägliche Periode nicht finden. Zu den hier folgenden Tabellen 1 und 2 sei bemerkt, daß nur die Ergebnisse von mindestens ganzjährigen Beob-

Grunde die Erdstrahlung etwas an Einfluß verliert, während die Beziehungen zur Luftstrahlung mehr hervortreten.

KOLHÖRSTER faßt die Wirkung der Erdstrahlung folgendermaßen zusammen: Die aktiven Substanzen der „wirksamen Zone" (etwa 1 m mächtige Oberflächenschicht), insbesondere die ersten Dezimeter Tiefe, sind für ihre Schwankungen maßgebend, während die folgenden Dezimeter noch eine gewisse Bedeutung für die Absolutwerte der Strahlungsintensität gewinnen.

Gerade das zeigt sich an den Untersuchungen OBERGUGGENBERGERS, der in der Umgebung Innsbrucks das Verhalten der Erdstrahlung zu den anstehenden Gesteinsformationen geprüft hat. Er fand zunächst die von direkten Gehaltsbestimmungen her bekannte Tatsache auch an γ-Strahlmessungen bestätigt, daß Sedimentgestein schwächer als Urgestein strahlen. Weiter konnte er nachweisen, daß die Strahlungsstärke an verschiedenen Orten bei gleichen anstehenden Formationen nahezu dieselbe war, ein wichtiger Umstand für alle die Beobachtungen, bei denen man nicht in der Lage ist, die Erdstrahlung gesondert zu bestimmen, oder bei denen man die Höhenstrahlung nicht anders als durch Messung in Höhlen abschirmen kann. Immerhin wird man natürlich darauf bedacht sein müssen, die Erdstrahlung nach Möglichkeit auszuschalten, wenn man die anderen Komponenten studieren will. (Schluß folgt.)

Über das krystallochemische und geochemische Verhalten des Germaniums.

Von V. M. GOLDSCHMIDT, Oslo.

Bisher lagen über das geochemische Verhalten des Germaniums nur vereinzelte und teilweise widerspruchsvolle Angaben und Vermutungen vor. D. MENDELEJEFF erwartete das „Ekasilicium" in Mineralen säurebildender vierwertiger Elemente, wie Titan oder Zirkonium, doch erwies sich die bisher einzige näher geprüfte Angabe über ein solches Vorkommen, nämlich im Samarskit, als unzutreffend. CL. WINKLER entdeckte das Germanium bekanntlich in dem Sulfosalze Argyrodit, und das Vorkommen in sulfidischen Mineralen ist bisher das wichtigste geblieben; es mag an Germanit und an die Germanium-haltigen Zinkblenden erinnert werden. Ein derartiges Vorkommen des Germaniums, vorzugsweise gebunden an Schwefel, ist in Übereinstimmung mit dem geochemischen Charakter anderer Elemente der „Nebenreihen" des periodischen Systems, und ich habe deshalb vor einigen Jahren[1]) das Germanium ohne Bedenken den typisch „chalkophilen" Elementen zugezählt, Elementen, welche wie Kupfer oder Arsen ganz überwiegend in sulfidischen Erzen vorkommen. Indessen konnte ich schon damals auf Beobachtungen mehrerer Fachgenossen hinweisen, welche einen gewissen Grad von Lithophilie bei Germanium vermuten ließen, der sich im Auftreten dieses Elementes in Sauerstoffverbindungen bemerkbar macht, so A. HADDINGS Angabe über Germanium im Zinnstein, F. ULRICHS über Germanium im Brookit.

Seitdem die Erkenntnis gewonnen war, daß die krystallochemischen Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen von maßgebendem Einfluß auf Fragen der geochemischen Verteilungsweise sind, lag es nahe, auf krystallochemischem Wege Aufschluß über die Geochemie des Germaniums zu gewinnen. Im allgemeinen ist das krystallochemische Verhalten eines Elementes in einfacher Weise durch dessen Platz im periodischen System bestimmt. Wir beobachten eine regelmäßige Zunahme der Strukturdimensionen in homologen Reihen, es sei etwa an die Zunahme der Gitterdimensionen analoger Verbindungen in der Reihe Magnesium, Calcium, Strontium, Baryum oder in der Reihe Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium erinnert. Zunahme ähnlicher Art treffen wir auch in den sog. „Nebenreihen" des periodischen Systems, etwa zwischen Zink und Cadmium, Arsen und Antimon.

Die krystallochemischen Beziehungen zwischen Elementen der Hauptreihen und der zugehörigen Nebenreihen werden durch den Umstand gekennzeichnet, daß zwischen einem Elemente der Hauptreihe und dem nachfolgenden Elemente der Nebenreihe, etwa zwischen Kalium und Kupfer oder zwischen Strontium und Cadmium nicht ein Zuwachs der Strukturdimensionen eintritt, sondern im Gegenteil eine Abnahme, bewirkt durch eine Kontraktion des Atombaues im zwischenliegenden Gebiete. Solche Kontraktionen beobachten wir in den Gebieten zwischen Titan und Kupfer, zwischen Zirkonium und Silber, zwischen Hafnium und Gold, in welchen Gebieten der Rückgang der krystallochemischen Dimensionen bereits von NIGGLI klar erkannt und als „Recurrenz" bezeichnet wurde. Hierzu kommt dann noch die große Kontraktion des Atombaues zwischen Lanthan und Cassiopeium, die als Lanthanidenkontraktion[1]) bezeichnet worden ist.

Die Kontraktion im Gebiete Titan-Kupfer bewirkt nicht nur, daß einwertiges Kupfer keine größeren Strukturdimensionen besitzt als Kalium, oder Zink als Calcium, sondern sie kompensiert sogar jene Vergrößerung der Strukturdimensionen, welche zwischen der Neon-Periode und der Argon-Periode stattgefunden hat, so daß Kupfer krystallochemisch dem Natrium relativ nahe steht, Zink dem Magnesium.

Diese „Rückbildung" der krystallochemischen Dimensionen kommt bei den nachfolgenden Ele-

[1]) Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente I und II. Vid. Selsk. Skr., Mathem.-naturw. Kl. 1923, Nr. 3 und 1924, Nr. 4.

[1]) Vgl. GOLDSCHMIDT, BARTH und LUNDE, Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente V. Skrifter, Vid. Akad. Oslo, Mathem.-naturw. Kl. 1925, Nr. 7.

menten ebenfalls zum Ausdruck; so ist Gallium dem Aluminium krystallochemisch sehr nahe verwandt[1]), Arsen dem Phosphor, und bringen wir diese Verwandtschaftsbeziehungen tabellarisch zum Ausdruck, so ersieht man leicht, daß zwischen Germanium und Silicium nahe krystallochemische Beziehungen zu erwarten sind.

	Atomnummer		Atomnummer
Natrium	11	ist einigermaßen verwandt mit Kupfer	29
Magnesium	12	ist nahe verwandt mit Zink	30
Aluminium	13	ist sehr nahe verwandt mit Gallium.	31
Silicium	14	entspräche dann dem Germanium	32
Phosphor	15	ist nahe verwandt mit Arsen	33

Daß tatsächlich nahe krystallochemische Beziehungen zwischen Germanium und Silicium vorliegen, zeigt sich schon im Molekularvolumen analoger Verbindungen[2]). So ist das Molekularvolumen des flüssigen Siliciumtetrachlorids 111,6, dasjenige des Germaniumtetrachlorids 114,4, also nur 2,5% Unterschied. In den Strukturdimensionen der Elemente kommt ebenfalls eine relativ nahe Verwandschaft zum Ausdruck, wie sich aus folgender Reihe ergibt:

	$a \cdot 10^{-8}$ cm
C	3,55
Si	5,42
Ge	5,61
Sn	6,46

Von besonderem Interesse erschien die Frage, wie sich Germaniumdioxyd in krystallochemischer Beziehung verhält.

Ausgedehnte Untersuchungen über die Krystallochemie der Dioxyde und analoger Verbindungen, welche in meinem Institute in den letzten Jahren ausgeführt worden sind, ergaben nämlich, daß ein einfacher Zusammenhang zwischen Chemismus und Krystallstruktur besteht, derart, daß bei relativ großem Durchmesser des Metallatoms der Fluorit-Typus auftritt (Beispiel CeO_2), bei relativ kleinerem Durchmesser des Metallatoms hingegen der Rutiltypus (Beispiele SnO_2, TiO_2), endlich bei noch kleinerem Durchmesser des Metallatoms die Gitterarten des Siliciumdioxydes (oder allgemeiner ausgedrückt Schichtengitter und Molekülgitter[3]).

Bereits die vorliegenden Dichteangaben für Germaniumdioxyd ließen erwarten, daß zwischen Siliciumdioxyd und Germaniumdioxyd nähere krystallographische Verwandschaft zu erwarten sei. Dies wurde durch krystallographische und röntgenographische Untersuchung des Germaniumdioxydes bestätigt.

Die gewöhnliche (wasserlösliche) Modifikation des Germaniumdioxydes, erhalten durch Krystallisation aus wässeriger Lösung bei 16° C, 90° C, sowie durch starkes Glühen der Krystallisationsprodukte (bei 400°, 600° und bis dreistündiges Glühen bei 950° C) erwies sich stets als eine trigonale oder pseudotrigonale Krystallart, welche in bezug auf Gitterdimensionen und Atomanordnung dem *trigonal trapezoedrischen Quarz* am nächsten verwandt ist. Eine ausführliche Veröffentlichung der Ergebnisse soll an anderer Stelle erfolgen. Es wurden Germaniumpräparate verschiedener Herkunft benutzt, erstens ein Präparat, welches ich vor 18 Jahren aus bolivianischem Argyrodit hergestellt hatte, zweitens Dioxyd aus einer kleinen Menge spektralreinen Germaniums der Firma Adam Hilger in London. Leider stand mir nur eine so geringe Materialmenge zur Verfügung, daß von der Herstellung und Untersuchung der „wasserunlöslichen Modifikation" vorläufig abgesehen werden mußte. Bei den Röntgenaufnahmen wurde ich in dankenswerter Weise von meinen Mitarbeitern T. BARTH, D. HOLMSEN, K. KVAAL unterstützt.

Die krystallochemische Analogie zwischen Germaniumdioxyd und Siliciumdioxyd, welche ich gefunden habe, kommt bekanntlich auch im physikalischen und chemischen Verhalten des Germaniumdioxydes zum Ausdruck. So hat schon DENNIS darauf hingewiesen, daß Germaniumdioxyd, analog dem Siliciumdioxyd leicht als Glas erhalten werden kann, ferner fanden DENNIS und LAUBENGAYER, daß Germaniumdioxyd das Siliciumdioxyd in zusammengesetzten Gläsern ersetzen kann.

Nach dem vorliegenden Material, insbesonders über die Krystallstruktur der Dioxyde, liegt die Vermutung nahe, daß Germanium in der Natur durchaus nicht ausschließlich chalkophil auftritt, sondern, daß es auch als Vertreter von Silicium in oxydische Verbindungen eintritt, analog dem Eintreten von Gallium in Verbindungen des Aluminiums. Es erscheint mir nicht ausgeschlossen, daß ein sehr wesentlicher Teil des Germaniums in der Erde auf diese Weise sozusagen im Silicium versteckt ist, und daß die bisher angenommene außerordentliche Seltenheit dieses Elementes nur eine *scheinbare* sei, vorgetäuscht dadurch, daß Germanium in der großen Menge Silicium verborgen sei, ebenso wie Gallium im Aluminium. Für solche Fälle verborgenen Auftretens eines relativ seltenen Elementes in einem relativ häufigen, habe ich die Bezeichnung „Camouflage" (Tarnung) vorgeschlagen[1]). Camouflage oder Tarnung tritt ein, wenn Expansion und Kontraktion der Elektronenhüllen gerade zur Kompensation

[1]) Man vergleiche V. M. GOLDSCHMIDT, T. BARTH, G. LUNDE, l. c.

[2]) Über die Eigenschaften reiner Germanium-Verbindungen findet man zahlreiche Angaben in den wichtigen Arbeiten von DENNIS und seinen Schülern in den letzten Jahrgängen von Journ. of the American. Chem. Soc.

[3]) Die Theorie eines Zusammenhanges zwischen diesen Gittertypen ist zuerst von F. HUND entwickelt worden (Zeitschr. f. Physik 34, 833. 1925). Eine Zusammenstellung zahlreicher neuer Strukturdaten von Verbindungen der Formel RX_2 aus meinem Institute ist zur Zeit im Drucke.

[1]) Vortrag des Verf. in der norwegischen Akademie der Wissenschaften am 22. 1. 1926.

der Gitterunterschiede (bei Elementen gleicher Valenz) führen, so ist Hafnium in Mineralen durch Zirkonium camoufliert, Gallium durch Aluminium, zweiwertiges Europium[1]) mitunter durch Strontium.

Es wäre nun außerordentlich erwünscht, diese Vermutung durch den direkten Nachweis von Germanium in Silicium-Materialien zu bestätigen. Untersuchungen, welche einen solchen Nachweis bezwecken, sind seit einiger Zeit in meinem Institute in Angriff genommen, bieten aber große Schwierigkeiten, welche in den chemischen Eigenschaften des Germaniums begründet sind. Der wesentliche Zweck meiner Darlegungen ist, die Aufmerksamkeit auf das vorliegende Problem zu lenken, damit der Nachweis des Germaniums in Silicium-Materialien auch von anderer Seite versucht werden möge. Man kann im allgemeinen bereits voraussagen, in welchen Silicium-Mineralen das Germanium vorzugsweise angereichert sein müßte. Die relativ sehr große Löslichkeit von Germaniumdioxyd in Wasser, verglichen mit der Löslichkeit von Siliciumdioxyd läßt erwarten, daß Germanium vor allem in magmatischen Restlösungen angereichert sein muß, also in pegmatitischen Mineralen, basaltischen Zeolithen, Chalcedon und Opal erwartet werden sollte. In Übereinstimmung hiermit ist Germanium in granitpegmatitischem Alvit und in Orangit aus Nephelinsyenitpegmatit nachgewiesen worden. Ferner sollte man erwarten, daß sowohl juvenile wie vadose Quellen durch Auslaugung des Nebengesteins relativ viel Germanium lösen sollten, verglichen mit Silicium. Dies wird insofern bereits durch die Erfahrung bestätigt, als J. H. MÜLLER[1]) in amerikanischem Grubenwasser (aus einem Zinkbergwerk) einen relativ sehr hohen Germaniumgehalt gefunden hat (0,3% GeO_2 in der Trockensubstanz).

Die Frage nach dem Vorkommen des Germaniums in Quellwässern erscheint insofern ganz besonders wichtig, als die bekannten starken physiologischen Wirkungen von Germaniumverbindungen es möglich erscheinen ließen, die Heilwirkungen mancher Mineralquellen auf einen Gehalt an Germanium zurückzuführen.

[1]) Unveröffentlichte Untersuchungen des Verf., gemeinsam mit T. BARTH.

[1]) J. H. MÜLLER, Industrial and Engineering Chemistry **16**, 604. 1925.

Besprechungen.

RENNER, O., **Untersuchungen über die faktorielle Konstitution einiger komplex-heterozygotischer Oenotheren.** Bibliotheca genetica, Bd. IX. Berlin: Gebr. Borntraeger 1925. 168 S. und 58 Abbild. 18×26 cm. Preis 22 Goldmark.

Über das Oenotherenproblem und seine Wandlungen, über die geklärten Grundlagen, auf denen es nach langer Forschungsarbeit Fuß faßte, hat der Verfasser selbst in dieser Zeitschrift (1918, **4**, S. 37–41 und 49–52) ausführlich Bericht gegeben.

Die Tatsache, daß die meisten wild vorkommenden Oenotheraarten Heterozygoten und zudem heterogametisch sind, ist inzwischen noch viel tiefer beleuchtet worden, nicht zum wenigsten durch die Untersuchungen des Verf. selbst, die uns vor allem über das Wesen der haplontischen Biotypen wichtige Tatsachen aufgedeckt haben. Wir wissen seitdem, daß die Verschiedenheit der Pollenkörner einer Art, die sich zunächst nur in Kreuzungsprodukten manifestierte, sowohl *morphologisch wie physiologisch* nachweisbar ist. Und wir wissen, daß im weiblichen Geschlecht bei bestimmten Oenotheren *nicht*, wie das sonst der Fall ist, *die Lage* der Tetradenzelle über ihre Entwicklung zur Eizelle entscheidet, sondern daß die ihrer *genotypischen Konstitution* nach *kräftigere* Zelle ein gefährlicher Konkurrent wird, auch dann, wenn sie unten, d. h. örtlich benachteiligt, in der Tetrade liegt.

Die verschiedenen Partner der haploiden Generation besitzen nun Eigenschaftsgruppen, die in den einzelnen Oenotheraarten als festgebundene Komplexe erscheinen. Führt man in diese Komplexe, die man anfänglich kaum für angreifbar hielt, durch Kreuzung andere Faktorengruppen ein, so lassen sie sich in labilere Verbindungen überführen, und es können nach und nach die einzelnen Faktoren herausgespalten werden. Aber erst seitdem die Zahlenverhältnisse der Nachkommenschaften durch die früheren grundlegenden Klärungen einem Verständnis zugänglich sind, kann hier die *Faktorenanalyse im Mendelschen Sinne* fruchtbare, wenn auch unendlich mühsame Arbeit leisten. Solche Arbeit ist auf breiter Basis in dem vorliegenden Buche des Verf. niedergelegt, und ihre Methoden sind es, die in neuerer Zeit das Gesamtgebiet der Oenotherenforschung mehr und mehr beanspruchen.

In 34 Gruppen, je nach dem Zusammenschütten der Komplexe, werden die Ergebnisse der ausgeführten Kreuzungsreaktionen beschrieben, wobei neben der Wechselwirkung der Faktoren und Faktorengruppen der wesentliche Einfluß des jeweiligen Plasmas von Bedeutung ist.

Es ist nicht möglich, in engem Rahmen das reiche Material zu veranschaulichen. Es kann lediglich angedeutet werden, daß Verf. bereits klare faktorielle Zusammenhänge zwischen den einzelnen Haploidkomplexen der verwendeten wilden Arten: Oenothera muricata, Lamarckiana, biennis, suaveolens und Hookeri konstruieren konnte, und durch diese naturgemäß auch zwischen den diploiden Biotypen selbst. Es zeigt sich dabei, daß die Faktoren für Blütengröße in den meisten Arten einander entsprechen und demnach ausgetauscht werden können. Ob dasselbe für die sonstigen beschriebenen Eigenschaften, wie Blattgestalt und andere, auch gilt, muß sich erst erweisen. Alles in allem ist hier ein großes Material an zum Teil vorläufigen Erfahrungen zusammengestellt und durchdacht, und bietet der weiteren analytischen Arbeit erprobte Grundlagen.

Eine wichtige Rolle spielt bei den Oenotheren die *Lebensunfähigkeit einzelner Komplexe in homozygotischem Zustand*. Drei „Lethalfaktoren" sind durch den Verf. klar herausgestellt, aber im übrigen hält seine Kritik davor zurück, ungeprüfte Tatsachen einfach in den oft gar zu leicht verwendeten „Lethalfaktorbegriff" einzukleiden. Ebenso wird vor der Vorstellung „gametischer (oder gonischer) Lethalfaktoren" gewarnt, und zwar, weil die oben angedeuteten entwicklungsphysiologischen Untersuchungen betreffs des weiblichen Geschlechtes diesen Vorstellungen

für die Oenotheren ganz klar widersprechen, und weil für die in ihren Ursachen leider schwer zu ergründenden Störungen der Pollenentwicklung die Sachlage noch nicht geklärt ist.

Außerordentlich merkwürdig und von großem Interesse sind die Beobachtungen des Verf. über *die Koppelungsverhältnisse* der Faktoren, die heute durch die Studien an Drosophila (MORGANS crossing-over-Theorie) im Mittelpunkt genetischen Interesses stehen. Nur ein einziger Fall aus den vorliegenden Untersuchungen fügt sich in den Rahmen der MORGANschen Vorstellungen ein. Im übrigen verhalten sich die Faktoren bezüglich der Koppelung und ihres Grades gänzlich verschieden, je nach der Affinität der Partnerkomplexe.

Es ist wohl kein Zufall, daß Verf. mit besonderer Vorliebe Ausdrücke gebraucht, die die *genetischen Vorstellungen* mit *chemischen* verbinden. Das klar ausgesprochene und schon 1920 in einer Arbeit begründete Bestreben geht auf eine *Erklärung des Faktorenaustausches* als *chemisch reversible Reaktion* hinaus. Eine solche würde nichts weniger als die tatsächliche Verankerung der Koppelungserscheinungen auf festem Boden bedeuten, und damit auch neue Wege zeigen, die zu konkreter Erfassung des Faktorenbegriffes selbst führen können.

Möchte das strenggerichtete Suchen nach Grundlagen von solcher Bedeutung in der weiteren, mühevollen Arbeit seine Stützpunkte finden.

EMMY STEIN, Berlin-Dahlem.

STOLZE, K. V., **Die Chromosomenzahlen der hauptsächlichsten Getreidearten nebst allgemeinen Betrachtungen über Chromosomen, Chromosomenzahl und Chromosomengröße im Pflanzenreich.** Bibliotheca genetica Bd. VIII. Berlin: Gebr. Borntraeger 1925. 71 S. und 54 Abbild. 18×26 cm. Preis 9,60 Goldmark.

Nach dem vielversprechenden Titel auf einem Bande der Bibliotheca genetica ist der Inhalt der Arbeit etwas enttäuschend. In bezug auf die Chromosomen des Weizens hat lange die Haploidzahl 8 eine Rolle gespielt, die das Resultat einer ganzen Reihe von Arbeiten war. In nie erklärtem Widerspruch dazu erwiesen dann die Untersuchungen von SAKAMURA und KIHARA die verschiedenen Weizen mit 7, 14 und 21 Chromosomen als einer Polyploidreihe angehörig. Diese Unstimmigkeit zwischen alten und neuen Zahlen möchte Verf. aufhellen. Da er nun aber ebenfalls 21 Chromosomen findet, so meint er die fehlende experimentelle Erklärung durch die gewagte theoretische Vorstellung ersetzen zu müssen, daß hier die 8 chromosomigen Formen inzwischen durch 21 chromosomige verdrängt seien. Verf. erhebt nur gegen TISCHLER den Vorwurf, daß er die neuen Zahlen als die einzig richtigen anerkenne und meint, daß z. B. KIHARA seine Ergebnisse nur neben diejenigen früherer Forscher stelle. Das ist irrig. KIHARA sagt auf S. 3 seiner Arbeit von 1924: „Bei den Triticumarten sind erst im Jahre 1918 von SAKAMURA die richtigen Chromosomenzahlen gefunden worden. Bis dahin war eine irrige Zahl allgemein für richtig akzeptiert worden, was aber für die Fortschritte der cytologischen Studien dieser Pflanze kein geringes Hindernis bedeutete."

Verf. hat ferner die Chromosomen anderer Getreide gezählt und auch hier decken sich die Ergebnisse mit KIHARAS Befunden.

Den theoretischen Erörterungen, beispielsweise in bezug auf den Begriff der Chromomeren, vermag Ref. nicht immer zuzustimmen, und ebensowenig manchen aus der Literatur gewonnenen Vorstellungen. Daß z. B. „WINKLER die Polyploidie innerhalb einer Pflanze als Mittel zum Zweck ansieht, um in bestimmten Geweben eine Zellvergrößerung zu erreichen", dürfte nicht im Sinne des genannten Autors sein.

EMMY STEIN, Berlin-Dahlem.

LAMPA, ANTON, **Die Physik in der Kultur.** München: Kunstwart-Verlag D. W. Callway 1925. Kunstwart-Bücherei 29. Band. Preis 1 R.-M.

Das vorliegende kleine Buch ist, obwohl es überall die Liebe des Forschers für sein Spezialgebiet widerspiegelt, aus der tiefen Überzeugung heraus geschrieben, daß jede Fachwissenschaft nur in der organischen Verknüpftheit mit dem allgemeinen Kulturzusammenhang wirklichen Wert für die Menschheit besitzt.

Es gliedert sich in 3 Teile. Der 1. Teil gibt einen Überblick über den Werdegang der Physik von der Urzeit bis zur Gegenwart. In überaus reizvoller Weise wird gezeigt, wie die Menschen, von Zufall und Notwendigkeit geleitet, den weiten Weg von der ersten Erzeugung des Feuers, der Werkzeuge und Waffen bis zu den jüngsten Errungenschaften moderner Wissenschaft und Technik gegangen sind; wie an Stelle der fast unbewußten Beeinflussung durch biologische und physikalische Erfahrungen, allmählich das bewußte Forschen, die mathematische Betrachtung der Natur tritt, deren erste Ansätze sich bei Pythagoras finden, deren Rückwirkung auf die Technik aber erst in der Neuzeit zur Geltung gelangt; wie noch später die Wechselwirkung zwischen Physik und Technik eine so innige wird, daß auch die Physik insbesondere seit der Erfindung der Dampfmaschine von der Technik vielfache Anregungen erhält; wie aber wieder gegenwärtig „die durch das Eigenleben der Physik heraufgeführten Probleme und Ideen von weitaus größerer Bedeutung für sie sind als die von der Technik bei ihr ausgelösten".

Der 2. Teil zeigt die vielfachen Beziehungen, die zwischen der Physik und anderen Wissenschaften bestehen. Nicht nur Mathematik und Physik haben sich wechselseitig befruchtet, die Physik hat insbesondere in der Blütezeit ihrer mechanistischen Entwicklung tief in die physiologische und psychologische Erkenntnisweise eingegriffen, und sie hat schon seit NEWTON auch zur Diskussion philosophischer und erkenntnistheoretischer Fragen gezwungen. Die ganze Entwicklung des Fragenkomplexes, der sich aus der Unterscheidung von relativer und absoluter Bewegung ergeben hatte, wird an Hand kurzer aber übersichtlicher Zitate aus NEWTON, EULER, MACH bis EINSTEIN dargelegt. Schließlich wird noch kurz die Bedeutung der Physik für die Chemie, Astronomie und Kosmologie erörtert.

Im 3. Teil wird die Frage behandelt, welche Rolle „der Physik in der Bildung der Gegenwart zufallen sollte". Zu diesem Zweck wird zuerst eine sehr interessante Definition des Bildungsbegriffes, oder vielleicht richtiger des Bildungszieles gegeben und dann dargelegt, wie sehr die Physik gerade infolge ihrer Verknüpftheit mit anderen Erkenntnisgebieten, aber auch weil sie zum wunschfreien Respekt vor Tatsachen erzieht, geeignet ist, den erstrebenswerten Bildungsprozeß des Menschen zu fördern und ihn so zu dem wahren Bildungsziel, zu einer festgefügten Weltanschauung hinzuleiten.

Es ist wirklich ein besonderer Genuß, dieses Buch zu lesen, nicht nur weil man sich dauernd von der Hand eines physikalischen Fachmannes geführt fühlt, der zugleich über eine philosophische Bildung verfügt, wie sie nur dem selbsttätig auf dem Gebiet Arbeitenden zugänglich ist, sondern auch weil es so leicht verständlich, sehr flüssig und mit einer außerordentlichen Wärme geschrieben ist, die sich notwendigerweise auch auf den Leser überträgt. Und so kann man nur wünschen, daß das Buch die Verbreitung findet, die ihm gebührt.

L. MEITNER, Berlin-Dahlem.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Der Herausgeber hält sich für die Zuschriften und die vorläufigen Mitteilungen nicht für verantwortlich.

Photochemische Äquivalenz und Kettenreaktion.

Ein Gemisch von Wasserstoff und Chlor, das unter gewöhnlichen Umständen im sichtbaren Licht sich zu Chlorwasserstoff vereinigt, reagiert nach BAKER[1]) nicht mehr, wenn es längere Zeit über Phosphorpentoxyd gestanden hat. Man konnte jedoch vermuten, daß die Hemmung der Reaktionsfähigkeit auf den vom Phosphorpentoxyd abgegebenen Sauerstoff, nicht aber auf die intensive Trocknung zurückzuführen sei. BODENSTEIN und DUX[2]) folgerten das aus ihrem Befund, daß auch dann, wenn sie den Wasserdampfdruck ohne chemische Trocknungsmittel durch Auskühlen bis auf 10^{-4} mm Hg herabdrückten, die Geschwindigkeit der Vereinigung nicht vermindert wurde.

Daß aber dennoch durch noch weitergehende Trocknung, die durch Auskühlen mit flüssiger Luft bis auf 10^{-7} mm Wasserdampfdruck gebracht war, die Vereinigung von Wasserstoff und Chlor im sichtbaren Licht bis unter die Grenze der Nachweisbarkeit herabgedrückt werden kann, wurde von COEHN und TRAMM[3]) gezeigt. Diese Versuche wurden von COEHN und JUNG[4]) bestätigt und dabei sichergestellt, daß nicht die Anwesenheit von Sauerstoff, sondern die Abwesenheit des Wasserdampfes die Hemmung der Reaktion verursacht.

Als man aber in Fortsetzung dieser Arbeit auf das bis zur Unempfindlichkeit gegenüber sichtbarer Strahlung getrocknete Gemisch ultraviolettes Licht einwirken ließ, war nach kurzer Zeit quantitative Vereinigung eingetreten. Es wurde geschlossen, daß das mit dem großen Energiequantum des ultravioletten Lichtes angeregte Chlormolekül imstande ist, Wasserstoffmoleküle aufzuspalten und so die Bildung von Chlorwasserstoff einzuleiten, daß aber das nur mit dem kleineren Quantum des sichtbaren Lichtes angeregte Chlormolekül nicht die dazu nötige Energie besitzt, und daß hier zunächst eine Wirkung auf die vorhandenen Wassermoleküle erfolgt. Gemeinsam mit Herrn J. FRANCK war folgende Formulierung für beide Vorgänge als möglich aufgestellt worden:

A. Feucht. Im sichtbaren Licht.	B. Trocken. Nur im Ultraviolett.
$Cl_2 + h\nu$ (klein) $= Cl_2'$	$Cl_2 + h\nu$ (groß) $= Cl_2''$
$Cl_2' + Cl_2 = Cl_2 + 2\,Cl$	$Cl_2'' + H_2 = Cl_2 + 2\,H$
$Cl + H_2O = HCl + OH$	(2 mal) $H + Cl_2 = HCl + Cl$
$OH + H_2 = H_2O + H$	$Cl + Cl = Cl_2$
$H + Cl_2 = HCl + Cl$	
usw. bis H auf Cl bzw. Cl auf Cl trifft.	

Die erste Reaktionsfolge stellt eine Kettenreaktion dar. Durch eine solche war von NERNST die Tatsache gedeutet worden, daß im feuchten Gemisch durch ein $h\nu$ viele Tausend Moleküle HCl entstehen. (Ein von uns angestellter Versuch mit blauem Licht ergab pro $h\nu$ ungefähr 10 000 Moleküle, in guter Übereinstimmung mit dem kurz darauf mitgeteilten Ergebnis von GERTRUD KORNFELD und H. MÜLLER[1]).) Die hier gegebene Formulierung soll lediglich zum Ausdruck bringen, daß eine Teilnahme des Wassers am Vorgang als notwendiges Kettenglied aufgefaßt werden muß.

Die zweite Formulierung aber stellt *keine* Kettenreaktion dar, und wir hatten geschlossen, daß das bis zur Unempfindlichkeit gegen sichtbares Licht getrocknete Chlorknallgas bei der Vereinigung im kurzwelligen Ultraviolett dem EINSTEINschen Gesetz folgt, d. h. daß hier für *ein* absorbiertes $h\nu$ nicht mehr als *zwei* Moleküle HCl gebildet werden. *Diese Folgerung ist nunmehr der experimentellen Prüfung unterworfen worden mit folgendem Ergebnis:*

In derselben Anordnung, in der

a) *feuchtes* Chlorknallgas für ein Quantum absorbierter Strahlung *sichtbaren und auch kurzwelligen ultravioletten* Lichtes ca. 10 000 Moleküle Chlorwasserstoff gibt,

b) weitgehend *getrocknetes* Chlorknallgas auch bei mehrere Wochen andauernder Einwirkung überhaupt keine Vereinigung erkennen läßt, zeigt sich

c) im *trockenen* Chlorknallgas bei Bestrahlung mit kurzwelligem *Ultraviolett* deutliche Vereinigung, deren Messung mit Sicherheit aussagen läßt, daß *für ein absorbiertes Quantum weniger als 7 Moleküle Chlorwasserstoff entstehen.* Es ist anzunehmen, daß der oben angegebenen Formulierung entsprechend durch ein $h\nu$ 2 Moleküle HCl gebildet werden.

Von NORRISH[2]) ist die Vermutung ausgesprochen worden, daß der große Umsatz für ein Quantum sichtbaren Lichtes bei Anwesenheit von Feuchtigkeitsspuren daher rühre, daß das Chlormolekül in der adsorbierten Wasserhaut an der Gefäßwand unter Mitwirkung des Wassers im Licht dissoziiert werde:

$$H_2O + Cl_2 \longrightarrow H_2O\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix} \quad \text{(Oberfläche)}$$

$$H_2O\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix} \xrightarrow{\text{(Licht)}} H_2O + 2\,Cl$$

Die entstandenen Chloratome würden dann im Innern des Gefäßes ohne weitere Mitwirkung des Wassers den Fortgang der Reaktion bewirken. Im Ultraviolett aber bedürfe es des Initialvorganges an der feuchten Gefäßwand nicht, da die größeren Quanten auch im Gefäßinnern die Chlormoleküle ohne Wasser als Katalysator aufspalten könnten.

Wäre die Annahme zutreffend, daß im feuchten Gemisch die Reaktion ihre Auslösung nur in der Feuchtigkeitshaut an der Wand fände, für den Fortgang der Kette aber der Wasserdampf im Innern des Gefäßes belanglos sei, so würde nur eine geringe Anzahl derjenigen Chlormoleküle, die sich aus der Lichtabsorption — ausgedrückt in Quanten — berechnen, nämlich nur die in der Feuchtigkeitsschicht der Wand enthaltenen, in Atome dissoziiert werden. Wenn nun aber der bei den trockenen Gasen im Ultraviolett beobachtete Umsatz daher rührt, daß diese Strahlung das Chlor auch ohne Mitwirkung der Wand zu dissoziieren vermag, so

[1]) BAKER, Journ. chem. soc. **65**, 611. 1894.

[2]) BODENSTEIN und DUX, Zeitschr. f. phys. Chem. **85**, 297. 1913.

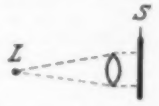
[3]) COEHN und TRAMM, Ber. d. dtsch. chem. Ges. **56**, 458. 1923; Zeitschr. f. phys. Chem. **105**, 356. 1923.

[4]) COEHN und JUNG, Ber. d. dtsch. chem. Ges. **56**, 696. 1923; Zeitschr. f. phys. Chem. **110**, 705. 1924.

[1]) G. KORNFELD und H. MÜLLER, Zeitschr. f. phys. Chem. **117**, 242. 1925.

[2]) RONALD G. W. NORRISH, Transact. Faraday soc. Nr. 63, 21. Part. 3. 1.; Journ. chem. soc. **127**, 2316. 1925.

müßte sich die Ausbeute pro Quantum stark gesteigert finden, wenn für Chlordissoziation sowohl an der Wand wie im Innern gesorgt würde, das heißt, wenn man *feuchtes* Chlorknallgas mit kurzwelligem *Ultraviolett* bestrahlen würde. Die Ausführung des Versuches zeigte jedoch, daß dabei für ein Quantum absorbierten Lichtes wieder ca. 10 000 Moleküle Chlorwasserstoff entstehen, also *nicht mehr* als bei Bestrahlung mit sichtbarem Licht. Das aber spricht gegen die Auffassung, daß die Wandschicht bei Annahme eines derartigen Reaktionsmechanismus eine bevorzugte Stelle im Sinne von NORRISH bildet.



Es besteht nun aber, wie oben gezeigt, die Tatsache, daß die Vereinigung des trockenen Gemisches im *Ultraviolett* mit einer Ausbeute stattfindet, die, wenn überhaupt, so jedenfalls nicht wesentlich über die dem photochemischen Äquivalentgesetz entsprechende hinausgeht. Das beweist für den Vorgang *im sichtbaren Licht*, daß dort das Wasser nicht nur die Chlordissoziation einmalig auslöst, sondern daß das Wasser *ein integrierender Bestandteil für weitere Glieder, das heißt für das Fortbestehen der Kette ist*.

Die ausführliche Mitteilung erfolgt in der Dissertation von GERD HEYMER.

Göttingen, Photochemische Abteilung des physikalisch-chemischen Institutes, 28. Februar 1926.

ALFRED COEHN und GERD HEYMER.

Vorschlag zu einem die Natur des elementaren Strahlungs-Emissionsprozesses betreffenden Experiment.

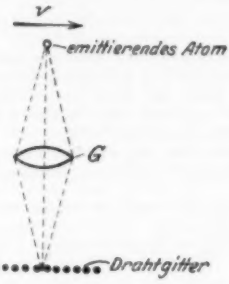
Nach der klassischen Undulutionstheorie des Lichtes rührt die Interferenzfähigkeit des von einem Atom emittierten monochromatischen Lichtes daher, daß elektrische Massen harmonische Schwingungen ausführen, welche dieselbe Frequenz haben wie das emittierte Licht. Nach den MAXWELLschen Gleichungen ist der Emissionsprozeß ein solcher, daß jedem Wellenberg des Raumvorganges ein Teil einer Schwingung der elektrischen Massen des Atoms entspricht, durch den der betreffende Wellenberg erzeugt wurde. Die Periodizität der Atomschwingung erscheint also als Ursache des Ordnungszusammenhanges, der zwischen verschiedenen Teilen des ausgesandten Wellenzuges zu bestehen scheint (Interferenzerscheinungen).

Andererseits aber ist nach der Quantentheorie die Frequenz der Strahlung an die beim Elementarprozeß emittierte Energiemenge gebunden. Nach der ursprünglichen BOHRschen Theorie der Spektra ist es unmöglich, die Existenz einer der Lichtfrequenz gleichen Frequenz der Elektronenbewegung anzunehmen. Insbesondere aber spricht der Comptoneffekt gegen die Existenz eines die abgebeugte Strahlung im Sinne der klassischen Wellentheorie erzeugenden periodischen Prozesses des beugenden Elektrons. Es drängt sich die Überzeugung auf, daß allgemein der sinusartige Charakter der einem Elementarprozeß entsprechenden Wellenfeldes (wie er sich bei den Interferenzerscheinungen manifestiert) nicht durch das emittierende Atom bzw. Elektron bedingt sei, sondern durch eine Eigengesetzlichkeit des raum-zeitlichen Kontinuums.

Im folgenden gebe ich ein Experiment an, dessen *negatives* Ergebnis mit der Interpretation der klassischen Undulationstheorie unvereinbar wäre. Dieses Experiment habe ich seit langem im Sinne. Aber erst eine von E. RUPP ausgeführte Arbeit (Interferenz-Untersuchungen an Kanalstrahlen, Ann. d. Phys. IV, 79, 1. 1926), auf die mich Herr GROTRIAN freundlich aufmerksam machte, liefert mir den Beweis, daß die erfolgreiche Ausführung des Experimentes wirklich praktisch möglich sei. Der Grundgedanke ist folgender:

Das Licht einer quasi-monochromatischen Lichtquelle L falle auf einen Schieber S, der abwechselnd während der Zeit τ geöffnet, dann während der folgenden Zeitspanne τ geschlossen (usw.) sei. Es entsteht dann ein intermittierender Wellenzug in der Weise, wie es in der Figur angedeutet ist; $c\tau$ ist die Länge eines Teil-Wellenzuges sowie der darauffolgenden Lücke. Wird nun der so gebildete Wellenzug mit Hilfe eines MICHELSONschen Interferometers bei verschiedenen Gangdifferenzen untersucht, so verlangt die klassische Optik folgendes: Interferenzfransen müssen auftreten, wenn die Gangdifferenz beider Teilbündel ein gerades Vielfaches von $c\tau$ ist; sie müssen verschwinden bei Gangdifferenzen, die ein ungerades Vielfaches von $c\tau$ sind.

Wenn die Auffassung der klassischen Theorie der Lichtemission im wesentlichen richtig ist, so wird durch die nebenstehend skizzierte Anordnung durch die Strah-



lung eines Atoms eines Kanalstrahles eine Wellenzug von der oben angedeuteten Art erzeugt. Von dem einzelnen, mit der Geschwindigkeit v in der Pfeilrichtung bewegten Atom eines Kanalstrahlbündels wird durch die Linse G ein scharfes Bild in der Ebene eines Drahtgitters erzeugt, dessen Drähtchen und Intervalle etwa $^1/_{10}$ mm dick sind. Hinter dem Gitter wird das durchtretende Licht durch eine weitere Linse parallel gemacht und hierauf interferometrisch untersucht. Dann soll sich nach der klassischen Optik das oben angedeutete Verhalten der Interferenzen in Abhängigkeit vom Gangunterschiede zeigen. Damit der Versuch beweisend sei, ist es notwendig, daß die Bilder aller Kanalstrahlteilchen genügend genau in der Ebene des Drahtgitters erzeugt werden und daß die Bildausdehnung $^1/_{10}$ mm nicht übersteigt. Nennt man Δ die Dicke der Drähtchen bzw. Intervalle, so ist der Teil-Wellenzug von der Länge $c\frac{\Delta}{v}$, was bei den schnellsten Wasserstoff-

Kanalstrahlen, welche E. RUPP untersucht hat (30 000 Volt) 6 cm ausmacht. Da Herr RUPP bei 16 cm Gangunterschied noch Interferenzen beobachtet hat, liegt der Versuch durchaus innerhalb der von diesem Autor erzielten Genauigkeitsgrenzen.

Würde der Versuch negativ ausfallen (bzw. die Interferenzen durch Anwesenheit des Gitters nicht beeinträchtigt) und die Annahme ausgeschlossen, daß die Emissionen verschiedener Kanalstrahlatome miteinander kohärent seien, so würde der Versuch lehren, daß die Interferenzfähigkeit der Strahlung mit einer dem emittierenden Atom eigenen Periodizität nichts zu tun hat.

Berlin, den 16. März 1926. A. EINSTEIN.

Biologische Mitteilungen.

Untersuchungen über Insulin. I. Ist das Insulin eine unstabile Schwefelverbindung? (ABEL, JOHN T., and E. M. K. GEILING, Journ. of pharmacol. a. exp. therapeut. Bd. **25**, Nr. 6, S. 423–448. 1925.) Mit den üblichen Fällungsmethoden läßt sich Insulin Lilly nicht weiter reinigen. Verff. benutzten ein Lillypräparat, das pro Milligramm Substanz 8–12 Kaninchen-einheiten enthielt. Dies stellt aber immer noch ein Gemisch verschiedener Verbindungen dar, so daß die junige Verbindung, welche physiologisch wirksam ist, enbekannt bleiben muß (DUDLEY, SHONLE und WALDO).

Zur Reinigung des Insulins wurden folgende Methoden verwendet: Zu 140 ccm einer Insulinlösung, welche pro Kubikzentimeter 300 Kaninchen-einheiten enthielt, wurden 4–6 Tropfen reines Pyridin gegeben und kräftig gerührt, bis flockiger Niederschlag fällt. Unter Rühren wird weiter so lange $^n/_6$ Pyridinlösung zugesetzt, bis kein Niederschlag mehr erfolgt. Trennung von Niederschlag und Lösung auf der Zentrifuge. Der Niederschlag wird in etwas Wasser und $^n/_6$ Essigsäure aufgenommen und die Fällung mit Pyridin wiederholt, Lösung und Fällung werden im ganzen fünfmal wiederholt, zum Schluß wird der Niederschlag in dünner Schicht ausgestrichen und mit warmem Luftstrom rasch getrocknet. Auf diese Weise gelingt es, 35–40% der Begleitstoffe des Insulins zu entfernen. Sie bestehen aus 2 Fraktionen: die eine enthält eiweißartige Stoffe, die andere krystallisierbare Aminosäuren. In die Zentrifugate der Pyridinniederschläge geht verhältnismäßig sehr wenig wirksame Substanz. Der getrocknete Pyridinniederschlag wird in folgender Weise weiter gereinigt. Er wird in einem Mörser mit 30 ccm 90 proz. Carbolsäure gründlich wiederholt zerrieben, und die resultierende kolloidale, bräunlich gefärbte Flüssigkeit zentrifugiert. Die klare überstehende Flüssigkeit wird abgehoben, der Rückstand wird mit 90 proz. Carbolsäure aufgenommen und wieder zentrifugiert. Dies wird wiederholt und zum Schluß der Rückstand mit Wasser gewaschen. Die in Phenol unlösliche Substanz hat keine Insulinwirkung, enthält reichlich Phosphor, aber wenig leicht abspaltbaren Schwefel. Aus der Lösung in Phenol kann das Insulin durch Äther oder Alkohol ausgefällt werden, oder durch Zusatz von viel Wasser. In letzterem Falle überzieht das ausfallende Insulin firnisartig die Gefäßwände. Der Rest des Insulins wird durch Zentrifugieren der Phenol-Wasserlösung erhalten. Die überstehende Flüssigkeit ist dann insulinfrei. Der Rückstand ist nicht mehr in $^n/_6$-Essigsäure völlig löslich, es bleibt beim Verreiben mit $^n/_6$-Essigsäure eine unlösliche Fraktion zurück, die kaum wirksam ist. Aus der essigsauren Lösung kann das Insulin durch Pyridin ausgefällt oder durch NaCl ausgesalzen werden. Diese Fällungen lösen sich in $^n/_6$-Essigsäure klar wieder auf. Während das Ausgangsmaterial 12 Einheiten pro Milligramm enthielt, sind in diesem letzten Präparat mehr als 40 Einheiten pro Milligramm enthalten. Dieses Produkt, das leicht in größeren Mengen darstellbar ist, soll als Ausgangsmaterial für weitere Reinigung des Insulins dienen. Verff. halten es für höchst wahrscheinlich, daß die Verunreinigungen, welche auch dieses Präparat noch enthält, ebenso physiologisch unwirksam sind als die bereits herausgeschafften. Diese reinsten Insulinpräparate, die bisher hergestellt wurden, sind nun charakterisiert durch den Gehalt an leicht abspaltbarem Schwefel. Insulinpräparate, aus denen der leicht abspaltbare Schwefel als SH_2 abgespalten war (Erhitzen in 90 proz. Phenol auf 205° $2^1/_2$ Stunden), waren unwirksam geworden. Durch 15 Minuten langes Kochen am Rückflußkühler in $^n/_{10}$-Sodalösung, nachträgliches Ansäuren mit HCl und weiteres Erhitzen für 30 Minuten werden 0,48% Schwefel als SH_2 erhalten. Verff. hoffen, daß auf Grund solcher Bestimmungen eine *chemische* Wertbestimmung des Insulins wird ausgearbeitet werden können, welche die gegenwärtige physiologische an Genauigkeit weit überragen wird, denn alle Fraktionen, welche aus dem Insulin Lilly als unwirksam abgetrennt werden konnten, enthalten wenig oder keinen mit Soda abspaltbaren Schwefel. Bei Anstellung der Schwefelbleiprobe mit starker Natronlauge ist es von Wichtigkeit, ob das Bleisalz vor oder nach dem Kochen zugesetzt wird. Bei dem gereinigten Insulin wird im letzteren Falle eine sehr viel schwächere Reaktion erhalten, was bei Cystin und den inaktiven Fraktionen nicht der Fall ist. Die quantitative Bestimmung geschieht durch Erhitzen im Stickstoffstrom mit 10 ccm $^n/_{10}$-Sodalösung, Ausfällung des SH_2 mit Bleiacetat, Abzentrifugieren des Niederschlages, Lösen in Salzsäure, Überführen des SH_2 im Stickstoffstrom in ammoniakalische Cadmiumchloridlösung. Titration mit Jod. Der so leicht abspaltbare Schwefel beträgt 38–47% des Gesamtschwefels. Wird Cystin ebenso behandelt, so erhält man 2,5% des Gesamtschwefels. Phosphor ist in dem gereinigten Insulin nicht enthalten. Verff. nehmen an, daß der leicht abspaltbare Schwefel ein integrierender Bestandteil des Insulinmoleküls ist und daß die Inaktivierung, welche beim Kochen mit Sodalösung stattfindet, durch Abspaltung des Schwefels verursacht wird. Ammoniak wird bei dieser Behandlung nicht abgespalten. Die hypoglykämische Wirksamkeit der verschiedenen erhaltenen Fraktionen geht ihrem Gehalt an leicht abspaltbarem Schwefel parallel.

E. J. LESSER.

Die Anlockung von Tagfaltern durch Pigmentfarben (A. KÜHN und D. ILSE, Biol. Zentralbl. 45. H. 3, 1925). KNOLL hatte in Versuchen mit dem Schwärmer Macroglossum stellatarum (Taubenschwanz) eine angeborene Vorliebe desselben für gelbe und blaue Farben (Papierscheiben) gefunden, die dieser aus Grauscheiben von verschiedener Helligkeit herausfand. KÜHN und ILSE arbeiteten mit frischgeschlüpften Tagfaltern (den Pieriden Gonepteryx rhamni und Pieris brassicae und den Nymphaliden Argynnis paphia und Vanessa io), denen Kunstblumen aus Pigmentpapier unter in gleichen Abständen auf schwarzen Brettern aufgesteckten Grau-

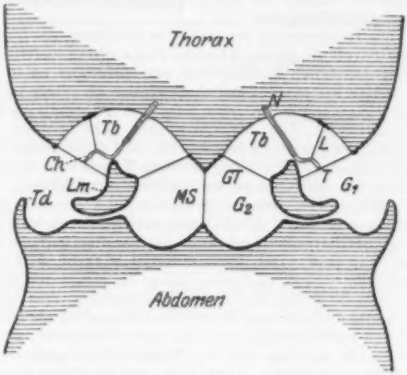
papierblumen verschiedener Helligkeit geboten wurden. Benutzt wurden die 16 Nummern der Heringschen Pigmentpapiere und 15 gleichmäßige Abstufungen von Weiß bis Schwarz aus der 50-stufigen Heringschen Grauserie. Die Falter, die noch nie an Blüten gesogen hatten, beflogen die künstlichen Blumen und setzten sich in der Regel darauf. Als Maßstab für den Grad der Vorliebe eines Falters für eine bestimmte Farbe wurde teils das Verhältnis zwischen der Besuchszahl dieser Farbe und der Besuchszahl von gleichzeitig in neunfacher Überzahl gebotenen grauen Blumen während einer bestimmten Versuchsdauer angesehen, teils wurde auch als Maßstab die Anzahl von Besuchen zugrunde gelegt, die auf jeder Farbe von der gleichen Falterzahl in einer bestimmten Zeit bei gleichen Bedingungen stattfanden. Außerdem wurden auch noch mehrere Farben gleichzeitig zwischen verschiedenen Graustufen geboten. Die Versuche ergaben, daß die Falter 1. einen Farbensinn besitzen, daß sie 2. instinktiv, ohne vorher erworbene Erfahrungen, von bestimmten Farben angelockt werden und daß 3. verschiedene Falterarten verschiedene Farben bevorzugen. Alle Falter unterscheiden Gelb und Blau von den verschiedenen Grautönen und von den dem Menschen grün und blaugrün erscheinenden Papieren. Vanessa io zieht Gelb und Blau vor, Pieris und Gonepteryx (in geringerem Maße auch Argynnis, unterscheiden im Gegensatz zu Vanessa Rot von dunklerem Grau. Diese Unterscheidung ist bemerkenswert, da Bienen und Macroglossum in Dressurversuchen v. Frischs und Knolls Rot mit Schwarz bzw. dunklem Grün verwechselten. Die Pieriden bevorzugen stark die Purpurtöne und unterscheiden sie auch von Rot und Blau. Unentschieden ist noch, ob grüne und blaugrüne Papiere keinen Farbwert für die Tiere haben, oder ob sie nur keine instinktiven Nahrungsflüge auslösen, und ob die anlockenden Farben untereinander qualitativ oder nur quantitativ (durch Helligkeit, Sättigung) verschieden auf die Falter wirken. Nach unseren bisherigen Kenntnissen vom Farbensinn der Insekten ist allerdings ein qualitatives Unterscheiden wahrscheinlich. Ob die verschiedene Farben bevorzugenden Falter auch in der Natur bestimmte Blütenfarben bevorzugen, soll ebenso wie die vorhergehenden Fragen in späteren Versuchen untersucht werden.

Herbst hatte durch Behandlung von Seeigelkeimen mit Lithiumlösungen erzielt, daß die Urdarmanlage nicht wie normal nach innen, sondern nach außen hin erfolgte (Exogastrulation) und daß das normale Mengenverhältnis zwischen Ekto- und Entoderm entsprechend der Dauer und Intensität der Li-Behandlung zugunsten des letzteren verschoben wurde. Im Anschluß daran untersuchte v. Ubisch in einer Arbeit: **Über die Entodermisierung ektodermaler Bezirke des Echinoideenkeimes und die Reversion dieses Vorganges** (Verhandl. d. phys. med. Ges. Würzburg, N.F. 50, H. 1. 1925) folgende Fragen: 1. Kann der durch Li entodermisierte Bezirk nur im Anschluß an normales Entoderm Entoderm liefern, oder besitzt er auch selbständig die formbildenden Eigenschaften des Entoderms, besonders die Fähigkeit der Gastralution? 2. Welchen Einfluß hat die experimentell veränderte prospektive Bedeutung der einzelnen Bezirke auf die Regulationsvorgänge? Durch Vitalfärbung, durch die im 2-Zellenstadium die Hälfte des Keimes von Echinocyamus pus. von einem Pol aus gefärbt wurde, konnte zunächst gezeigt werden, daß die ganze Hälfte der Blastula zur Entodermbildung verwendet wird. Wurden nun die längsovalen Blastulae in normalem oder Li-Seewasser aufgezogen und dann im Äquator durchschnitten, so konnten die animalen und vegetativen Hälften isoliert beobachtet werden. Während in normalem Seewasser die vegetativen Hälften richtig zu gastrulieren vermochten (virtuelles Entoderm also in Ektoderm verwandelt werden konnte), blieben die animalen Hälften auf dem Blastulastadium stehen. Anders die mit Li behandelten Keime: Hier konnte ein großer Teil der animalen Hälften einen mehr oder minder vollkommenen Urdarm bilden. Neben einer Bestätigung der Herbstschen Befunde ist dadurch gezeigt, daß der experimentell in Entoderm verwandelte Bezirk selbständig die entodermalen Entwicklungsvorgänge einzuleiten vermag. Bei den vegetativen Hälften war das Resultat die Bildung einiger Holoentoblastulae, aber in der Mehrzahl der Fälle konnte ein Teil des Entoderms in Ektoderm verwandelt werden, es entstanden also richtige Gastrulae. Da der Schnitt nicht genau durch den Äquator der Blastula zu legen war, ist es möglich, daß in diesen Fällen Teile der animalen Hälften zu den vegetativen gekommen waren. Diese Teile hätten aber, wenn die Blastula nicht durchschnitten wäre, durch das Li Entoderm geliefert. Nur mit Entoderm verbunden werden sie aber trotz Li durch die Durchschneidung wieder zu Ektoderm. Da die animalen Hälften mit Li im Gegensatz zu normalem Seewasser selbständig gastrulieren können, wäre eine „Determination" als im Augenblick der Durchschneidung abgeschlossen zu betrachten. Bei den animalen Teilen der vegetativen Hälften, wo die Determination eigentlich weiter fortgeschritten sein müßte, ist sie das aber, wie die Reversion von Entoderm zu Ektoderm zeigt, nicht. Deshalb glaubt v. Ubisch den Begriff einer von Bezirk zu Bezirk fortschreitenden Determination überhaupt fallen lassen zu müssen, und er nimmt für den Seeigelkeim an, „daß das Schicksal der einzelnen Keimbezirke 1. von den Potenzen des betreffenden Materials abhängt, 2. von dem Maß, in dem diese Potenzen aktiviert werden. Die definitive Ausbildung in den einzelnen Teilen geht unabhängig voneinander vor sich." Ein Organisationszentrum, wie es Spemann an Amphibienkeimen gefunden hat und von dem aus die Differenzierung der Gewebe vor sich geht, existiert also bei den Seeigeln nicht. Den vollen Beweis für diese Annahme lieferte folgendes Experiment: Im Zweizellenstadium wurden die beiden Blastomeren getrennt, eine derselben wurde blau gefärbt und mit einer ungefärbten eines anderen Keimes zur Verschmelzung gebracht. Stießen bei dieser Verschmelzung die Zentren der Vegetationsanlagen aneinander, so entstanden Einheitslarven mit halb gefärbten Urdarm und halbseitig gefärbtem Ektoderm. Wenn jedoch die beiden animal vegetativen Achsen einen Winkel miteinander bildeten, so entstand eine Zwillingsbildung mit einem blauen und einem ungefärbtem Darm Das Ektodermmaterial der einen Blastomere war hier gänzlich unbeeinflußt von der Entodermbildung der anderen geblieben, ein Organisationszentrum ist also nicht vorhanden.

Reaktionen auf akustische Reize sind bei verschiedenen Insekten mit Sicherheit beobachtet worden, woraus man teils auf ein echtes Hörvermögen und teils nur auf einen sehr verfeinerten Tastsinn schloß. Zur Entscheidung dieser Frage ist besonders der Nachweis eines Organes notwendig, das hauptsächlich der Rezeption von Schallwellen dient. Die Tympanalorgane der Feldgrille (Liogryllus campestris) und der Feldheuschrecke (Thamnotrizon apetrus) wurden mit weitgehender Sicherheit als solche Organe festgestellt. Aus dem Bau der Tympanalorgane der Noctuiden (Eulenschmetterlinge) schloß Eggers auf eine Hör-

funktion derselben und stellte daraufhin Versuche über das Gehör der Noctuiden an (F. Eggers, Zeitschr. f. vergl. Physiol. **2**, H. 4. 1925). Er konnte beobachten, daß die untersuchten Noctuiden (Agrotis pronuba, Catocala nupta und Amphipyra pyramidea), soweit sie sich nicht in Ruhestellung, sondern in Erregung befanden, auf verschiedene Schallreize deutlich mit Aufrichten der Flügel oder mit Auffliegen reagierten. Nachdem so ein Hörvermögen festgestellt war, wurden die Trommelfelle der Tympanalorgane, deren Bau die nebenstehende Abbildung zeigt, durch Einstechen einer Nadel zerstört. Die Tiere reagierten nach dieser Operation nur manchmal noch sehr schwach durch Zusammenlegen der Flügel, aber nicht mehr durch Auffliegen. Wurden nur die Trommelfelle einer Seite zerstört, so kam noch in $^7/_{10}$ aller Versuche ein Auffliegen auf Schallreize hin zustande. Letzteres Ergebnis spricht gegen die Annahme, daß die Tympanalorgane nicht als Hörorgane, sondern ähnlich den Halteren der Dipteren als Erregungsorgane für den Flug funktionierten, was nach den Ergebnissen der beiderseitigen Zerstörungen der Tympanalorgane immerhin möglich war. Um festzustellen, ob nicht etwa die Flügel, die in der Erregung, in der nur die Schallreaktionen stattfanden, halb offen gehalten wurden, oder die Antennen als Sitz der Schallrezeption in Betracht kämen, wurden auch diese exstirpiert. Da jedoch in diesen Fällen (bei erhaltenen Trommelfellen) die Hörfunktion bestehen blieb, können also mit großer Wahrscheinlichkeit die Tympanalorgane als Receptoren für Schallreize angesehen werden. Daneben können vielleicht, worauf wohl die geringen nach Zerstörung der Trommelfelle erhalten gebliebenen Reaktionen hindeuten, noch andere Sinnesorgane stärkere Erschütterungen der Luft perzipieren, es kommt ihnen jedoch keine solche Bedeutung für die Fluchtreaktion zu wie den Tympanalorganen.

K. Baldus.



Grobschematischer Horizontalschnitt durch das Grenzgebiet von Thorax und Abdomen einer Noctuide (etwa Agrotis). G_1, Tympanalgrube, in deren Grund das Trommelfell, *T*, befindlich ist; G_2, Gegentympanalgrube mit Gegentrommelfell *GT*; Die beiden Gegentympanalgruben sind sehr tiefe Einsenkungen des Integuments (ihr Eingang dorsolateral), die median einander berühren und eine zarte Scheidewand (*MS*) bilden; *Tb*, Tympanale Tracheenblase; *N*, Tympanalnerv; *Ch*, Chordotonalstrang; *L*, dessen Ligament; *Td*, Tympanaldeckel; *Lm*, Chitinlamelle, trennt das echte Trommelfell vom Gegentrommelfell und dient dem Chordotonalstrang zur Insertion.

Astronomische Mitteilungen.

Strahlung der Sonnencorona. Coblentz und Stetson[1]) haben die Strahlung der Corona bei der Sonnenfinsternis am 25. Januar 1925 mit Hilfe von Thermoelementen gemessen. Sie haben dabei gefunden, daß der von einer Glycerinzelle durchgelassene Teil der Strahlung (0,3 μ bis 1,4 μ) nur 33% der Gesamtstrahlung beträgt, während dieselbe Zelle 69% der Sonnenstrahlung durchläßt. Bei derselben Finsternis haben Pettit und Nicholson[2]) ganz ähnliche Messungen angestellt und sind zu einem gänzlich anderen Ergebnis gekommen. Als Fernrohr stand der Spiegel von 50 cm Durchmesser zur Verfügung, den Abbot 1908 für denselben Zweck benutzt hat. Die Thermosäule mit Steinsalzfenster befand sich im Brennpunkt des Spiegels. Die Ausschläge der Galvanometer, die in einem Nebenraume aufgestellt waren, wurden photographisch registriert. Der Abstand der Empfänger der Thermosäule war so eingerichtet, daß die eine Lötstelle sich mit einem Punkte der Corona 4′ außerhalb des Sonnenrandes deckte, wenn die andere sich ungefähr in der Mitte der dunklen Mondscheibe befand. Das Fernrohr wurde so geführt, daß die beiden Lötstellen abwechselnd in die Mondmitte kamen; dadurch kommen doppelt so große Ausschläge zustande, die zweite Lötstelle liegt dabei abwechselnd östlich und westlich von der Sonne. Zur Trennung der Spektralbezirke kamen eine Wasserzelle (0,3 μ bis 1,3 μ) und ein (Mikroskop-)Deckglas (bis 5,5 μ) in Anwendung. Wird die Thermosäule ohne Einschaltung von Zelle oder Glas exponiert, so kommt auch noch die Strahlung zwischen 8 μ und 14 μ zur Wirkung (Wellen zwischen 5,5 μ und 8 μ und über 14 μ absorbiert die Erdatmosphäre). Um den Vergleich mit der Sonnenstrahlung zu ermöglichen, wurden an einem anderen Tage bei derselben Höhe der Sonne über dem Horizonte entsprechende Messungen ausgeführt. Dabei wurde an der Stelle des großen Spiegels ein kleiner von bedeutend kleinerer Brennweite verwendet, der in der Entfernung, in der sich die Thermosäule befand, das Sonnenlicht auf einen Kreis von 115 cm zerstreute. Der Betrag des Sonnenlichtes, der auf die Empfänger fiel, ergibt sich aus den Abmessungen der Apparatur. Um einen Gegensatz zu schaffen, unterwarf man auch die Mondstrahlung entsprechenden Messungen. Wir stellen zuerst die Ausschläge, die sich in den verschiedenen Fällen ergaben, nebeneinander und setzen dahinter die daraus folgende Tafel, die die Beteiligung der verschiedenen Wellenlängenbezirke in Prozenten der Gesamtstrahlung angibt:

	Corona	Sonne	Mond
Gesamtstrahlung . .	65,4 mm	57,2 mm	183,5 mm
Durch Wasserzelle .	47,1 mm	40,8 mm	21,1 mm
Durch Deckglas. . .	61,4 mm	56,2 mm	31,7 mm

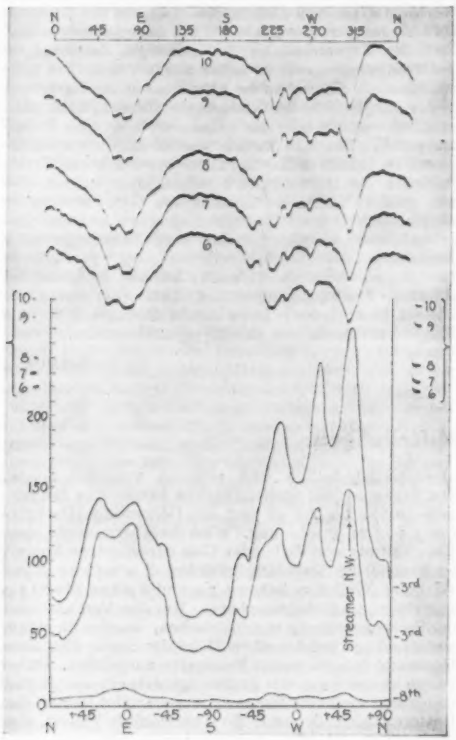
[1]) Siehe Naturwissenschaften **14**, 88. 1926.

[2]) Edison Pettit and Seth B. Nicholson, Radiation Measurements of the Solar Corona, January 24, 1925. Astrophys. Journ. **62**, 202. 1925.

	0,3 μ bis 1,3 μ	1,3 μ bis 5,5 μ	8 μ bis 14 μ
Corona	77,6%	22,4%	0,0%
Sonne.	71,4%	28,6%	0,0%
Mond	12,5%	6,6%	80,9%

Aus diesen Zahlen muß im Gegensatz zu STETSON und COBLENTZ gefolgert werden, daß die Strahlung der Corona der Sonnenstrahlung sehr ähnlich ist, daß keine langwellige Strahlung vorhanden ist, sondern eher noch ein etwas größerer Betrag kurzwelliger Strahlung als bei der Sonne.

Die Messungen der Gesamtstrahlung gestatten einen Vergleich der Coronastrahlung mit der Strahlung der Sonne. Unter Berücksichtigung der instrumentellen Verhältnisse ergibt sich, daß die Intensität der Strahlung an den gemessenen Stellen der Corona gleich dem $5{,}40 \cdot 10^{-7}$fachen der Intensität der durchschnittlichen Sonnenstrahlung ist.



Photometrische Vermessung einer Corona-Aufnahme. Oben: Schwärzungskurven für die fünf äußeren Zonen. Unten: Intensitätskurven für eine äußere und eine innere Zone. Die Intensität ist am Äquator (E und W) mehr als doppelt so groß wie an den Polen (N und S) und besonders groß in der Richtung eines Corona-Strahls.

Die Bestimmung der gesamten Strahlung der Corona wird durch die photometrische Behandlung gleichzeitig aufgenommener Coronabilder erreicht. Die zu untersuchende Platte wird auf einen Drehtisch gelegt und so unter dem Spalt des registrierenden Photometers hindurchgedreht, daß der Spalt einen zum Sonnenrande konzentrischen Kreis beschreibt. Auf diese Weise werden nacheinander die ringförmigen Zonen vom Sonnenrande bis zur Grenze der Corona durchfahren. Die Intensität der Schwärzung wird in jeder Zone als Kurvenzug registriert, die Eichung erfolgt durch Vermittlung von Plattenstellen, die mit bekannten Intensitäten belichtet sind. Der Photometerspalt steht senkrecht zum Sonnenrand, und seine Länge ist gleich der Kante des Empfängerquadrates der Thermosäule. Aus diesen Messungen ergibt sich die mittlere Intensität der Strahlung in jeder Coronazone und deren Verhältnis zu der Intensität an den mit der Thermosäule gemessenen Stellen. Da deren Verhältnis zur Sonnenstrahlung durch die Thermosäule bereits bestimmt ist, ergibt sich so das Verhältnis der gesamten Coronastrahlung zur Strahlung der Sonne. Es ergibt sich übereinstimmend aus Platten mit verschiedenem Wellenlängenbereich als $10{,}1 \cdot 10^{-7}$. Das leichter zu merkende Verhältnis zur Mondstrahlung wird hiermit 0,47, die Corona liefert also etwa halb soviel Licht wie der Vollmond (dieser Vergleich bezieht sich auf das sichtbare Licht). Dieser Wert ist in Übereinstimmung mit anderen Bestimmungen für dieselbe Finsternis und die von 1922 und 1918, so daß auch hiernach nur geringfügige Änderungen in der Gesamtintensität der Coronastrahlung angenommen werden können. Wenn man berücksichtigt, daß der Mond einen Teil der innersten Corona verdeckt, ergibt sich für die wirkliche Gesamtstrahlung der Corona eine etwas größere Zahl (= 0,52 Vollmond). Der definitive Wert ist unter Benutzung der für die Zeit der Finsternis geltenden Solarkonstante gleich $21{,}4 \cdot 10^{-7}$ Calorien pro Quadratzentimeter und Sekunde.

Die Untersuchung des Intensitätsverlaufes in der Corona zeigt, daß auf der gewöhnlichen Platte (λ 4500 Å) die Intensität der 6. Potenz des Abstandes von der Sonnenmitte umgekehrt proportional ist, auf der rotempfindlichen Platte (λ 6500 Å) jedoch mit der umgekehrten 7. Potenz geht. Das besagt, daß die Corona in ihren äußeren Teilen reicher an blauer Strahlung ist als in den inneren. Eine solche Möglichkeit ist gegeben, wenn die Corona die Sonnenstrahlung streut; bei einer Temperaturstrahlung müßte das Verhältnis umgekehrt sein.

Aus der Untersuchung des alle solche Messungen störenden zerstreuten Himmelslichtes ergibt sich die für die Praxis wichtige Feststellung, daß an eine radiometrische Beobachtung der Corona außerhalb von Sonnenfinsternissen erst zu denken wäre, wenn man das zerstreute Licht durch die optischen Mittel auf den hundertsten Teil des heute erreichten Betrages herabsetzen könnte. Die Corona wird also vorläufig den Reiz der Seltenheit nicht verlieren. W. KRUSE.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.